

TUGAS AKHIR - TE 141599

**DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN
PROHIBITED OPERATING ZONES MENGGUNAKAN ALGORITMA
IMPROVED ARTIFICIAL BEE COLONY**

Giorgio Rendra Gumelar
NRP 2215 105 064

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

***DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN
PROHIBITED OPERATING ZONES MENGGUNAKAN
ALGORITMA IMPROVED ARTIFICIAL BEE COLONY***

Giorgio Rendra Gumelar
NRP 2215105064

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

***DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH CONSIDERING
PROHIBITED OPERATING ZONES USING IMPROVED
ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM***

Giorgio Rendra Gumelar
ID 2215105064

Advisor
Dr. Rony Seto Wibowo, ST. MT.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul ***“Dynamic Economic Dispatch Mempertimbangkan Prohibited Operating Zones Menggunakan Algoritma Improved Artificial Bee Colony”*** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



Giorgio Rendra Gumelar
2215105064

**DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN
PROHIBITED OPERATING ZONES MENGGUNAKAN
ALGORITMA IMPROVED ARTIFICIAL BEE COLONY**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP. 19741129 200012 1 001

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 19640405 199002 1 001



DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN PROHIBITED OPERATING ZONES MENGGUNAKAN ALGORITMA IMPROVED ARTIFICIAL BEE COLONY

Nama : Giorgio Rendra Gumelar
NRP : 2215105064
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Rony Seto Wibowo, ST. MT.
Dosen Pembimbing 2 : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

ABSTRAK

Dynamic Economic Dispatch (DED) adalah solusi untuk menekan biaya produksi pembangkitan listrik dan efisiensi biaya bahan bakar dengan melakukan optimisasi biaya pembangkitan pada unit pembangkit. Perubahan permintaan beban tiap waktunya mengakibatkan berubahnya biaya pembangkitan per satuan waktu. Fungsi *Dynamic Economic Dispatch* (DED) untuk mendapatkan pembangkitan daya yang optimal dengan biaya seekonomis mungkin sambil tetap melayani kebutuhan daya ke konsumen selama 24 jam. Beberapa karakteristik dan batasan operasi yang terdapat pada *Dynamic Economic Dispatch* antara lain kerugian transmisi, batasan *ramp rate*, permintaan beban dinamis, *Prohibited Operating Zones*, dan *spinning reserve*. Pada tugas akhir ini menunjukkan implementasi algoritma *Improved Artificial Bee Colony* (IABC) pada perhitungan *Dynamic Economic Dispatch*. Beberapa batasan operasi yang dipertimbangkan dalam perhitungan tugas akhir antara lain, *Prohibited Operating Zones* dan batasan operasi *ramp rate*. Pengujian simulasi *Dynamic Economic Dispatch* dilakukan dengan menggunakan sistem 6 unit generator dan sistem 15 unit generator. Hasil simulasi menunjukkan batasan *ramp rate* dan *Prohibited Operating Zones* berdampak pada biaya pembangkitan. Pada sistem 6 unit generator dengan mempertimbangkan *Prohibited Operating zones* menggunakan algoritma *Improved Artificial Bee Colony* (IABC) total biaya pembangkitan sebesar \$ 313404/h atau lebih murah 1.002% dibandingkan dengan metode *Improved Bee Algorithm*.

Kata Kunci : *Dynamic Economic Dispatch, Ramp Rate, Prohibited Operating Zones, Improved Artificial Bee Colony (IABC)*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH CONSIDERING PROHIBITED OPERATING ZONES USING IMPROVED ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

Name : Giorgio Rendra Gumelar
ID : 2215105064
Supervisor 1 : Dr. Rony Seto Wibowo, ST. MT.
Supervisor 2 : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

ABSTRACT

Dynamic Economic Dispatch (DED) is a solution to reduces electricity generation production cost and fuel cost efficiency by optimizing generating costs at generating units. Changes in load demand each time can result changes the cost of generation per time unit. The purpose of Dynamic Economic Dispatch (DED) is to get optimal power generation at the lowest possible cost while, at the same time, still serving the power requirement to consumers for 24 hours. Some of the characteristics and operating limits contained by Dynamic Economic Dispatch include transmission losses, ramp rate limits, dynamic load demands, Prohibited Operating Zones, and spinning reserves. In this final project shows the implementation of Improved Artificial Bee Colony (IABC) algorithm on Dynamic Economic Dispatch calculation. Some operating limits considered in this final project include Prohibited Operating Zones and ramp rate operation limits. Simulation test of Dynamic Economic Dispatch is done by using 6 unit generator systems and 15 unit generator systems. The results shows that the ramp rate and Prohibited Operating Zones influence generating costs result. In a 6-unit generator system by considering Prohibited Operating zones using the Improved Artificial Bee Colony (IABC) algorithm the total cost of generation is \$ 313404/h or 1.002% cheaper than the Improved Bee Algorithm method.

Keywords : Dynamic Economic Dispatch, Ramp Rate, Prohibited Operating Zones, Improved Artificial Bee Colony (IABC)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan penyertaan-Nya selama penyusunan buku tugas akhir sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul ***“Dynamic Economic Dispatch Mempertimbangkan Prohibited Operating Zones Menggunakan Algoritma Improved Artificial Bee Colony”***.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Tuhan YME atas Esa atas segala berkat dan penyertaan-Nya.
2. Mama, Papa (Alm), dan Adik penulis yang tiada hentinya percaya mendoakan, dan memberikan dukungan serta motivasi kepada penulis baik dalam keadaan senang ataupun susah.
3. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. dan Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Teman-teman LBE dan teman-teman seangkatan Lintas Jalur 2015 yang selalu memberikan support dan menjadi tempat bertukar pendapat selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Teman-teman Campus Starter, khususnya Div. FRC, teman-teman G Brotherhood dan KB yang tidak hentinya memberikan semangat selama pengerjaan tugas akhir ini.
6. Teman-teman GW 5B yang menjadi rekan kerja Tugas Akhir bersama dan J yang bersedia meminjamkan laptop untuk pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
PERNYATAAN KEASLIAN	1
HALAMAN PENGESAHAN	1
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Tugas Akhir	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir	3
1.5 Metodologi Tugas Akhir	3
1.6 Sistematika Laporan.....	4
1.7 Relevansi	5
BAB II DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH	
MEMPERTIMBANGKAN POZ	7
2.1. Sistem Tenaga Listrik	7
2.1.1. Pusat Pembangkit Listrik	8
2.1.2. Sistem Transmisi	8
2.1.3. Sistem Distribusi.....	9
2.2. Karakteristik Unit Pembangkit Termal	9
2.2.1. Karakteristik Input-Output	10
2.2.2. Karakteristik Kenaikan Biaya Operasi.....	11
2.3. Economic Dispatch	13
2.4. Dynamic Economic Dispatch	14
2.5. Artificial Bee Colony	15
2.6. Improved Artificial Bee Colony	21
BAB III IMPLEMENTASI ALGORITMA IMPROVED	
ARTIFICIAL BEE COLONY PADA PERMASALAHAN	
DED-POZ	23
3.1. Penerapan Algoritma Improved Artificial Bee Colony	23
3.2. Prohibited Operating Zones.....	25
3.3. Permasalahan Dynamic Economic Dispatch dengan Algoritma	
IABC	26

3.3.1. Inisialisasi Awal IABC.....	26
3.3.2. Penentuan Biaya Pembangkitan Total.....	30
3.3.3. Update Sumber Makanan Lebah.....	30
3.3.4. Hasil Biaya Total.....	31
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS	33
4.1. Sistem IEEE 6 Unit Generator Tanpa POZ	33
4.2. Sistem IEEE 6 Unit Generator Dengan POZ	39
4.2.1. Validasi 6 Unit Generator dengan POZ	43
4.3 Sistem IEEE 15 Unit Generator Dengan POZ	46
4.3.1. Validasi 15 Unit Generator dengan POZ	52
BAB V PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	59
RIWAYAT PENULIS	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Sistem Tenaga Listrik	7
Gambar 2. 2 Diagram Blok Unit Pembangkit Termal.....	9
Gambar 2. 3 Karakteristik Input-Output Unit Pembangkit	11
Gambar 2. 4 Kurva Karakteristik Kenaikan Biaya Operasi [3].....	12
Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik Efisiensi Terhadap Output [3].....	12
Gambar 2. 6 Flowchart kerja sistem Artificial Bee Colony.....	20
Gambar 2. 7 Flowchart kerja sistem Artificial Bee Colony (lanjutan)	21
Gambar 3. 1 Flowchart implementasi IABC-DED.....	23
Gambar 3. 2 Flowchart implementasi IABC-DED (lanjutan).....	24
Gambar 3. 3 Kurva Karakteristik Input-Output Dynamic Economic Dispatch dengan POZ [7].....	26
Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh Parameter Terhadap Biaya Pembangkitan	35
Gambar 4. 2 Grafik Konvergensi IEEE 6 Unit Generator Tanpa POZ.....	38
Gambar 4. 3 Grafik Pembebanan Studi kasus 1	39
Gambar 4. 4 Grafik Konvergensi IEEE 6 Unit Generator-POZ.....	42
Gambar 4. 5 Grafik Pembebanan Studi Kasus 2	43
Gambar 4. 6 Grafik Pembebanan Unit 1 Studi Kasus 2.....	44
Gambar 4. 7 Grafik Pembebanan Unit 2 Studi Kasus 2.....	44
Gambar 4. 8 Grafik Pembebanan Unit 3 Studi Kasus 2.....	45
Gambar 4. 9 Grafik Pembebanan Unit 4 Studi Kasus 2.....	45
Gambar 4. 10 Grafik Pembebanan Unit 5 Studi Kasus 2.....	46
Gambar 4. 11 Grafik Pembebanan Unit 6 Studi Kasus 2.....	46
Gambar 4. 12 Grafik Konvergensi IEEE 15 Unit Generator	51
Gambar 4. 13 Grafik Pembebanan Studi Kasus 3	52
Gambar 4. 14 Grafik Pembebanan Unit 2 Studi Kasus 3.....	53
Gambar 4. 15 Grafik Pembebanan Unit 5 Studi Kasus 3.....	53
Gambar 4. 16 Grafik Pembebanan Unit 6 Studi Kasus 3.....	54
Gambar 4. 17 Grafik Pembebanan Unit 12 Studi Kasus 3.....	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel korelasi IABC dan DED	27
Tabel 3. 2 Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 6 Unit Generator.....	28
Tabel 3. 3 Data POZ Sistem IEEE 6 Unit Generator.....	28
Tabel 3. 4 Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 15 Unit Generator.....	29
Tabel 3. 5 Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 15 Unit Generator.....	29
Tabel 3. 6 Data POZ Sistem IEEE 15 Unit Generator.....	29
Tabel 4. 1 Parameter IABC	34
Tabel 4. 2 Permintaan Daya Beban 24 Jam IEEE 6 Unit Generator ...	34
Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Pencarian Biaya Berdasarkan Variasi Parameter	35
Tabel 4. 4 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam	36
Tabel 4. 5 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam (lanjutan)	37
Tabel 4. 6 Biaya Total Sistem per 24 Jam.....	38
Tabel 4. 7 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam	40
Tabel 4. 8 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam (lanjutan)	41
Tabel 4. 9 Biaya Total per Jam IEEE 6 Unit Generator	42
Tabel 4. 10 Komparasi Metode IEEE 6 Unit Generator Dengan POZ [2]	43
Tabel 4. 11 Permintaan Daya Beban 24 Jam IEEE 15 Unit Generator	47
Tabel 4. 12 Data POZ Sistem IEEE 15 Generator.....	47
Tabel 4. 13 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam	48
Tabel 4. 14 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam (lanjutan)	49
Tabel 4. 15 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam (lanjutan)	50
Tabel 4. 16 Biaya Total per Jam IEEE 15 Unit Generator.....	51

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biaya pengoperasian pembangkitan berbeda-beda antara unit pembangkit satu dengan unit pembangkit lainnya. Maka, salah satu solusi permasalahan untuk menekan biaya produksi pembangkitan listrik dan efisiensi bahan bakar adalah dengan melakukan optimasi biaya bahan bakar pembangkit pada proses pembangkitan listrik. Hal ini dikenal dengan istilah *Economic Dispatch* (ED). *Economic Dispatch* (ED) berfungsi menentukan besar daya keluaran yang harus dibangkitkan pada masing-masing pembangkit dengan biaya operasional terendah untuk memenuhi permintaan beban. *Economic Dispatch* (ED) dapat mengatur penjadwalan unit pembangkit pada keadaan statis (satu jam) saja, menyebabkan *Economic Dispatch* (ED) tidak berlaku untuk beban yang dinamis. Penggunaan *Economic Dispatch* (ED) pada interval waktu 24 jam akan menyalahi parameter *ramp rate* dari generator, sehingga perhitungan *Economic Dispatch* (ED) tidak lagi efektif.

Dynamic Economic Dispatch (DED) merupakan pengembangan dari *Economic Dispatch* (ED) dengan memperhatikan batasan *ramp rate* pada tiap-tiap unit pembangkitnya. Parameter *ramp rate* mengakibatkan terbatasnya kemampuan pembangkitan sehingga mempengaruhi pembagian pembebanan pada waktu selanjutnya. Fungsi *Dynamic Economic Dispatch* (DED) adalah menentukan penjadwalan pembangkitan daya untuk masing-masing unit pembangkit secara ekonomis dalam interval waktu *dispatch* 24 jam[1].

Praktiknya, unit pembangkit termal atau hidro memungkinkan terdapat zona batasan operasi atau disebut juga dengan *Prohibited Operating Zones* (POZ). *Prohibited Operating Zones* (POZ) adalah zona yang membatasi kerja unit pembangkit yang muncul disebabkan adanya batasan fisik pada komponen unit pembangkit itu sendiri. Pada daya output tertentu, getaran dapat muncul pada peralatan. Jika frekuensi pada getaran sama dengan frekuensi natural menyebabkan terjadinya resonansi pada peralatan yang dapat merusak peralatan listrik. *Prohibited Operating Zones* (POZ) menghasilkan kurva *cost function* yang *non-convex* dan memiliki *disjoint region*[2].

Untuk mengatasi permasalahan *Prohibited Operating Zones* (POZ) digunakan pendekatan algoritma metaheuristik *swarm intelligence*

yaitu algoritma *Improved Artificial Bee Colony* (IABC). Algoritma *Improved Artificial Bee Colony* (IABC) merupakan peningkatan dari algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) yang bekerja berdasarkan perilaku koloni lebah dalam mencari makanan mampu mendapatkan solusi terbaik permasalahan optimal. Secara individu, lebah mencari makanan secara acak lalu membandingkan satu sumber makanan satu dengan lainnya dengan nilai probabilitas dan melalui pengaruh dari berkoloni, lebah berkomunikasi tentang posisi sumber makanan terbaik (solusi) dengan lebah lainnya, sehingga sumber makanan terbaik (solusi terbaik) dapat ditemukan di dalam ruang pencarian.

1.2 Permasalahan

Permasalahan utama yang menjadi bahasan adalah efek *Prohibited Operating Zones* (POZ) terhadap perhitungan *Dynamic Economic Dispatch* (DED). *Prohibited Operating Zones* (POZ) mengakibatkan terbaginya kurva *cost function* menjadi beberapa *sub-region* sehingga membentuk kurva yang *non-convex*. Salah satu metode *artificial intelligence* yang dapat menyelesaikan permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* (DED) pada kasus *Prohibited Operating Zones* (POZ) adalah algoritma *Improved Artificial Bee Colony* (IABC).

Pada kasus ini data yang digunakan adalah data karakteristik input-output unit pembangkit, data kapasitas pembebanan maksimum dan minimum masing-masing unit pembangkit, data permintaan daya beban tiap jam, data ramp rate masing-masing unit pembangkit, dan data POZ.

Permasalahan *dynamic economic dispatch* diselesaikan dengan *Improved Artificial Bee Colony* (IABC) menggunakan software Matlab.

1.3 Batasan Tugas Akhir

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Fungsi obyektif dari optimisasi yang dilakukan adalah meminimalkan *fuel cost* dengan mengatur pembangkita tiap unit pembangkit
2. Sistem ini menggunakan data dan parameter sistem IEEE 6 unit generator dan sistem IEEE 15 unit generator
3. Optimisasi *dynamic economic dispatch* menggunakan algoritma IABC
4. Simulasi pemrograman *Improved Artificial Bee Colony-dynamic economic dispatch* menggunakan software Matlab

5. Analisis *dynamic economic dispatch* dilakukan tanpa mempertimbangkan kerugian transmisi

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Penelitian pada Tugas Akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pemodelan pada permasalahan *dynamic economic dispatch*.
2. Melakukan optimisasi pada pembagian beban unit pembangkit dengan tujuan menghasilkan pembangkitan yang ekonomis dan efisien.
3. Mengimplementasikan optimisasi *dynamic economic dispatch* menggunakan algoritma *Improved Artificial Bee Colony* (IABC) dengan memperhatikan batasan-batasan pada unit pembangkit.

1.5 Metodologi Tugas Akhir

Metode yang digunakan pada pengerjaan Tugas Akhir ini terdiri dari studi literatur, pengadaan jurnal ilmiah, pengadaan preseding, pengadaan *textbook*, dan metode optimasi.

1. Studi Literatur

Studi literatur perlu dilakukan untuk menunjang penguasaan tentang pengumpulan pustaka untuk dipelajari dalam pengerjaan penelitian tugas akhir. Teori-teori penunjang seperti studi analisis sistem tenaga, *economic dispatch*, *dynamic economic dispatch*, *prohibited operating zones* dan metode kecerdasan buatan *Improved Artificial Bee Colony* (IABC).

2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada pengerjaan Tugas Akhir ini diambil dari data IEEE sistem dengan 6 buah generator dan sistem 15 buah generator. Data yang dibutuhkan meliputi data jumlah permintaan daya beban pada sistem dalam interval 24 jam, batasan *ramp rate* tiap unit pembangkit, kapasitas pembangkitan daya tiap unit pembangkit, batasan *prohibited operating zones*, dan *cost function* tiap unit pembangkit.

3. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem dilakukan berdasarkan persamaan *Dynamic Economic Dispatch* dan menerapkannya dengan metode *Improved Artificial Bee Colony*.

4. Simulasi dan Implementasi

Hasil pemodelan sistem disimulasikan pada data sistem IEEE 6 unit generator dan data sistem IEEE 15 unit generator. Data yang diperoleh dari hasil simulasi akan dianalisis untuk mengetahui kecocokan dan keefektifan algoritma *Improved Artificial Bee Colony* menyelesaikan permasalahan *dynamic economic dispatch*..

5. Penulisan Buku

Penyusunan buku Tugas Akhir ini dilakukan sebagai penggambaran kesimpulan dari tugas akhir ini yang merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga akan diberikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis dan dibagi atas lima bagian dengan uraian sebagai berikut:

- BAB I Pendahuluan, memuat pendahuluan tugas akhir yang terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.
- BAB II Dasar teori penunjang yang membahas tentang teori *dynamic economic dispatch*, karakteristik input-output unit pembangkit dan *Improved Artificial Bee Colony Algorithm*.
- BAB III Berisi tentang perancangan *Improved Artificial Bee Colony* mempertimbangkan *Prohibited Operating Zones* menggunakan algoritma *Improved Bee Colony*.
- BAB IV Hasil simulasi dan pengujian *dynamic economic dispatch* mempertimbangkan *Prohibited Operating Zones* menggunakan algoritma *Improved Artificial Bee Colony*.
- BAB V Kesimpulan Tugas Akhir yang diperoleh dari hasil pembahasan dan saran-saran yang berhubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.7 Relevansi

Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan manfaat pengaplikasian dan pengimplementasian *Improved Artificial Bee Colony* pada permasalahan *dynamic economic dispatch* dan batasan *prohibited operating zones* yang dipertimbangkan.
2. Dapat menjadi referensi pada metode ilmu operasi optimasi sistem tenaga listrik, khususnya pada permasalahan *dynamic economic dispatch* dengan batasan kompleks dengan menggunakan algoritma *Improved Artificial Bee Colony*.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk dikembangkan sebagai Tugas Akhir.

Halaman ini sengaja dikosongkan

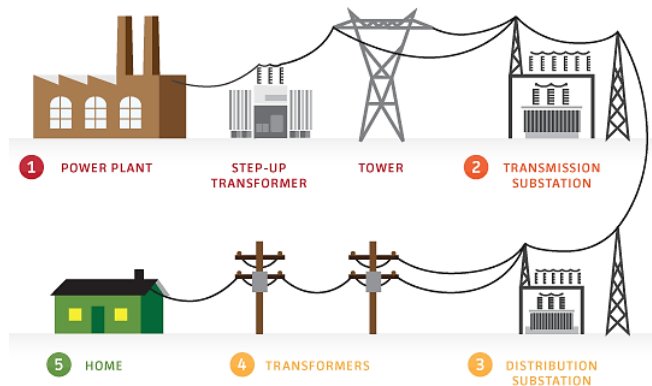
BAB II

DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN POZ

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem adalah perangkat unsur yang secara teratur saling berkaitan sehingga membentuk suatu hubungan. Sistem tenaga listrik adalah sistem yang terdiri dari beberapa komponen kelistrikan dalam rangka menyediakan, mengubah, dan menyalurkan tenaga listrik hingga ke konsumen. Sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu, pembangkit tenaga listrik, transmisi tenaga listrik, dan distribusi tenaga listrik.

Secara garis besar, skema alur sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1. Gambar 2.1 menunjukkan skema alur kelistrikan mulai dari pembangkitan tenaga listrik hingga dapat dinikmati oleh konsumen.



Gambar 2. 1 Skema Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik dibangkitkan di power plant atau disebut juga pusat pembangkit listrik. Pada pusat pembangkit listrik, sumber daya energi primer konvensional seperti minyak bumi, batubara, dan gas alam digunakan sebagai energi mekanis dan diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa.

Energi listrik yang dibangkitkan generator dinaikkan tegangannya melalui transformator penaik tegangan (*step-up* transformator). Hal ini

dimaksudkan untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Saluran transmisi bertegangan tinggi harus berada dalam aliran arus rendah agar dapat membawa daya listrik melalui saluran yang sangat panjang hingga ke konsumen dan mengurangi kerugian panas (*heat loss*) I^2R disepanjang saluran.

Energi listrik kemudian dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban. Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan listrik diturunkan kembali melalui transformator penurun tegangan (*step-down* transformator) menjadi tegangan menengah. Di pusat-pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik dihubungkan ke konsumen melalui jaringan tegangan rendah. Energi listrik ini digunakan untuk berbagai kebutuhan konsumen.

2.1.1. Pusat Pembangkit Listrik

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat energi listrik dibangkitkan untuk pertama kali. Pada pusat pembangkit listrik terdapat turbin yang berfungsi merubah satu sumber energi menjadi energi mekanis sebagai penggerak mula generator dan generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga putaran turbin menjadi energi listrik. Generator yang terhubung sistem akan melewati peralatan pengaman dan pengatur sehingga mampu menyediakan daya secara kontinu.

2.1.2. Sistem Transmisi

Transmisi adalah proses penyaluran listrik dari pembangkitan ke sistem distribusi sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen. Setelah dibangkitkan pada pusat pembangkit listrik, daya listrik akan disalurkan melalui sistem transmisi dengan cara menaikkan tegangan melalui gardu. Tujuan tegangan dinaikkan untuk meminimalisir rugi-rugi daya dan drop tegangan, karena melalui jalur transmisi yang panjang.

Terdapat dua klasifikasi standar tegangan pada sistem transmisi di Indonesia, yaitu tegangan ekstra tinggi (TET) dengan nominal 500 kV dan tegangan tinggi (TT) dengan nominal 70 kV dan 150 kV. Saluran transmisi terdiri dari Saluran udara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), Saluran Kabel Tanah Tegangan Tinggi (SKTT), dan Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT).

2.1.3. Sistem Distribusi

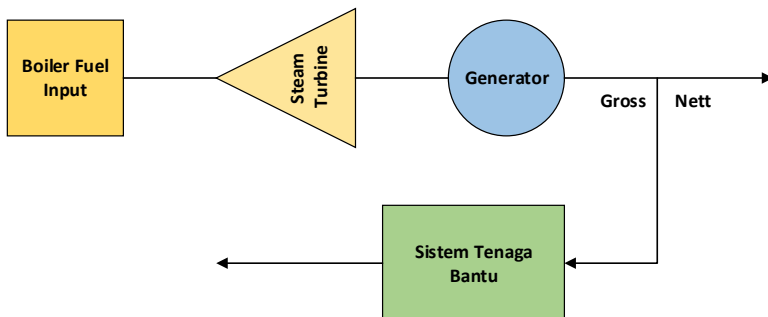
Sistem Distribusi berfungsi mendistribusikan energi listrik dari pusat sumber (Gardu Induk) menuju ke pusat beban (Gardu Distribusi). Pada sistem transmisi, tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi diturunkan dan akan disalurkan ke konsumen dengan level tegangan sesuai kebutuhan beban. Sistem distribusi dibagi menjadi 2 sistem distribusi yaitu:

1. Distribusi Primer
2. Distribusi Sekunder

Distribusi primer menggunakan tingkat tegangan menengah (11 KV atau 20 KV). Sistem distribusi primer berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat dan digunakan untuk konsumen industri. Tegangan menengah diturunkan lagi menjadi tegangan distribusi skunder (220/380 volt) untuk melayani konsumen residensial dan komersial.

2.2. Karakteristik Unit Pembangkit Termal

Unit pembangkit termal adalah pusat pembangkit tenaga listrik yang bekerja dengan sumber masukan energi termal. Energi termal diubah menjadi energi mekanis melalui turbin, kemudian energi mekanis tersebut memutar generator untuk diubah menjadi energi listrik 3 fasa. Bahan bakar yang banyak dimanfaatkan untuk menghasilkan energi termal adalah minyak, gas, batubara, dan uranium. Selain itu energi termis dapat diperoleh langsung dengan memanfaatkan panas matahari dan panas bumi. Sistem unit pembangkit termal secara sederhana ditunjukkan pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Diagram Blok Unit Pembangkit Termal

Pada Gambar 2.2 dijelaskan sistem unit pembangkit yang terdiri atas boiler, turbin dan generator. Boiler berfungsi sebagai tempat untuk menghasilkan fluida kerja. Fluida kerja tersebut digunakan untuk memutar turbin, kemudian energi mekanis yang dihasilkan dari putaran turbin diubah menjadi energi listrik oleh unit generator. Proses konversi energi termal pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) menggunakan fluida kerja udara, sedangkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) menggunakan fluida kerja uap air.

Unit generator mempunyai sistem tenaga bantu disamping sistem utamanya. Sistem ini merupakan sistem pendukung dari unit generator untuk menjaga kontinuitas pelayanan. Sebagai contoh suatu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) membutuhkan daya keluaran generator untuk sistem tenaga bantu seperti pompa untuk menyuplai air ke ketel uap (boiler), pompa sirkulasi air pada kondensor, dan kipas angin. 2% sampai dengan 6% daya keluaran generator digunakan untuk menyuplai sistem tenaga bantu yang dibutuhkan pembangkit itu sendiri.

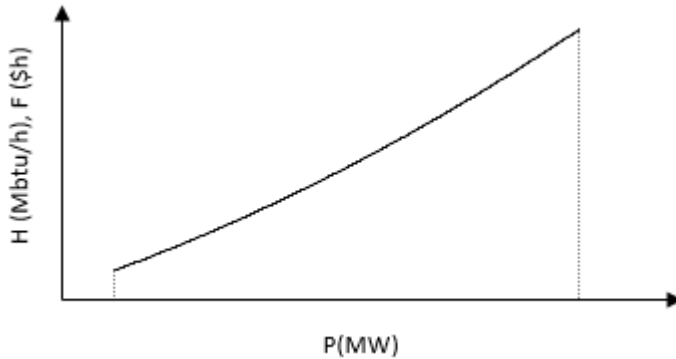
2.2.1. Karakteristik Input-Output

Unjuk kerja suatu unit pembangkit ditentukan oleh karakteristik masukan keluarannya yang memberikan gambaran mengenai efisiensi unit pembangkit sehingga jumlah panas masuk sebagai bahan bakar maupun jumlah panas keluar sebagai energi listrik dan biaya bahan bakar dapat diketahui.

Laju konsumsi bahan bakar unit pembangkit pada dasarnya merupakan besar biaya yang harus dikeluarkan untuk per-MegaWatt (MW) daya keluaran yang dihasilkan oleh unit pembangkit tersebut. Pada masukan pembangkit termal atau bahan bakar dinyatakan dalam BTU (British Thermal Unit)/h (hour) dan keluaran dinyatakan dalam MW [3].

Kurva hubungan antara masukan dan keluaran atau karakteristik masukan-keluaran pembangkit dapat dilihat pada gambar 2.3. Dengan heat rate test akan diperoleh titik-titik data biasanya tidak jatuh pada kurva yang halus. Gambar 2.3 adalah bentuk ideal dan pendekatan dari titik-titik data tersebut. Daya keluaran minimum (P_{min}) dan maksimum (P_{maks}) merupakan batasan pada pengoperasian pembangkit.

Perbandingan masukan bahan bakar (Btu/h) ke biaya operasi (\$/h) akan menghasilkan kurva biaya operasi.



Gambar 2. 3 Karakteristik *Input-Output* Unit Pembangkit

Dalam implementasinya kurva tersebut akan berupa fungsi polinomial berderajat dua (kuadratik) [3]:

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (2-1)$$

Dimana:

$F_i(P_i)$ = biaya operasi tiap unit pembangkit (\$/h)

P_i = daya keluaran tiap unit pembangkit (MW)

a_i, b_i, c_i = koefisien biaya operasi pembangkit

i = 1, 2, 3,....., n (untuk n pembangkit)

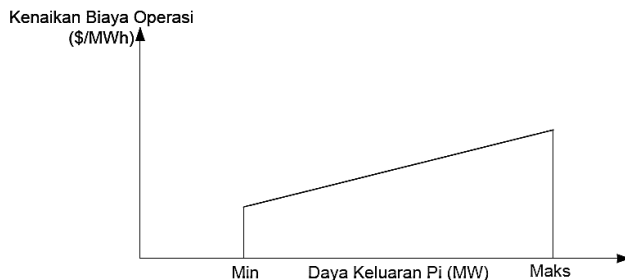
Gambar diatas menunjukkan kurva ideal karakteristik input-output yang non-linier dan kontinu. Input unit pembangkit dalam bentuk energi panas dilambangkan dengan H (Mbtu/h) atau dapat dinyatakan juga sebagai fungsi biaya F (\$/h) . Sedangkan output dinyatakan sebagai daya pembangkit (MW) [4].

2.2.2. Karakteristik Kenaikan Biaya Operasi

Salah satu karakteristik lain yang penting pada suatu pembangkit *thermal* adalah karakteristik laju panas atau *incremental heat rate*. Karakteristik kenaikan biaya operasi merupakan slope derivative, turunan pertama, dari karakteristik input-output ($\Delta H / \Delta P$ atau $\Delta F / \Delta P$).

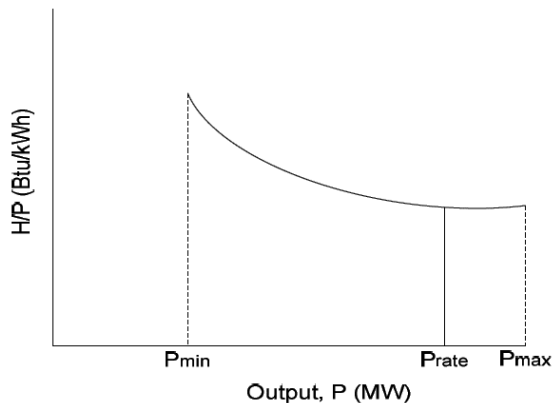
Pada karakteristik ini ditunjukkan perbandingan nilai *incremental fuel rate* (Btu/ MWh) atau *incremental fuel cost* (\$/MWh) terhadap daya

keluaran pembangkit (MW). Karakteristik kenaikan biaya operasi dibutuhkan dalam perhitungan pembebanan ekonomis dari unit pembangkit. Jika perbandingan fungsi kuadrat input-ouput unit pembangkit ini dinyatakan dalam bentuk ideal, kontinu dan mulus, maka karakteristik kenaikan biaya akan mempunyai bentuk garis lurus seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 [4].



Gambar 2. 4 Kurva Karakteristik Kenaikan Biaya Operasi [3]

Karakteristik efisiensi terhadap output dapat dilihat pada gambar 2.5. Pada karakteristik ini, ditunjukkan perbandingan nilai input energi panas (Btu/kWh) dengan output yang merupakan daya pembangkitan dalam satuan MW.



Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik Efisiensi Terhadap Output [3]

2.3. Economic Dispatch

Efisiensi, operasi ekonomis, dan perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik selalu memegang peranan penting dalam industri tenaga listrik. Semakin efisien dan ekonomis suatu sistem pembangkit tenaga listrik berarti semakin kecil biaya yang harus dikeluarkan untuk mengoperasikan sistem tersebut. Economic dispatch adalah penjadwalan keluaran unit pembangkit agar dapat memenuhi permintaan beban pada suatu sistem dengan biaya operasi seminimal mungkin dengan mempertimbangkan biaya pembangkitan, rugi-rugi transmisi dan beberapa kendala lain dengan tetap memberikan pelayanan kebutuhan listrik yang handal [5].

Sistem yang terdapat N-pembangkit termal yang terhubung dengan single bus-bar melayani beban listrik. masukan (bahan bakar) untuk tiap unit, ditunjukkan dengan f_i , yang juga merepresentasikan biaya rata-rata dari tiap unit. Luaran dari tiap unit merupakan P_i , adalah daya listrik yang dihasilkan tiap unit pembangkit. Biaya total dari pembangkitan adalah F_i , tentunya merupakan jumlah biaya dari tiap-tiap pembangkit. Batasan terpenting dari operasi sistem pembangkitan daya untuk melayani kebutuhan daya dengan baik adalah total daya yang dibangkitkan harus lebih besar dari beban daya permintaan yang dilayani oleh sistem, agar keandalan sistem dalam melayani kebutuhan daya tetap terpenuhi[6].

Batasan dalam permasalahan ED dibagi menjadi dua yaitu *equality constraint* dan *inequality constraint*. *Equality constraint* yaitu pertimbangan dalam perhitungan ED yang menyertakan beberapa faktor eksternal dari generator untuk membangkitkan daya sesuai dengan kebutuhan beban. *Inequality constraint* yaitu pertimbangan dalam perhitungan ED yang menyertakan beberapa faktor internal dari suatu pembangkit dalam mensuplai daya.

Pada suatu operasi sistem tenaga listrik pembangkitan daya (MW) sama dengan total beban yang diminta, P_D , ditambah rugi-rugi transmisi disebut juga kesetimbangan daya. Sehingga kombinasi daya output yang dibangkitkan oleh tiap-tiap generator pada sistem dapat memenuhi kebutuhan daya dari sistem tenaga listrik (*equality constraint*), yang dituliskan sebagai persamaan (2-2).

$$P_G = P_D + P_L \quad (2-2)$$

Jika kerugian transmisi diabaikan, maka persamaan di atas menjadi,

$$P_G = P_D \quad (2-3)$$

Dimana

PG = Total daya dari semua pembangkit

PD = Total daya yang dibutuhkan oleh beban

Batasan yang perlu diperhatikan selanjutnya yaitu daya yang dibangkitkan generator harus memenuhi batas minimal dan maksimal dari unit-unit generator itu sendiri (*inequality constraint*), yang dituliskan sebagai persamaan (2-4):

$$P_{Gi}min \leq P_G \leq P_{Gi}max \quad (2-4)$$

Dengan P_{Gi} adalah besaran daya yang di bangkitkan generator ke-i. Persamaan (2-4) disebut juga *inequality constraint*.

2.4. Dynamic Economic Dispatch

Dynamic economic dispatch adalah economic dispatch yang memiliki kemampuan prediktif beban untuk satu periode tertentu dengan mengkoordinasikan prediksi perubahan beban dengan kemampuan laju respon dari unit pembangkit [1]. Tujuan dasar dari dynamic economic dispatch adalah untuk menentukan luaran daya optimal dari unit-unit pembangkit listrik terhubung yang memenuhi kebutuhan beban permintaan dengan memenuhi beberapa kendala operasi untuk satu periode penyaluran daya. Tentunya masih dalam tujuan utama economic dispatch yaitu meminumkan biaya pembangkitan. Luaran dari dynamic economic dispatch adalah lintasan (trajektori) target ekonomis dari luaran pembangkitan daya.

Untuk satu periode tertentu, bentuk umum dari fungsi objektif dynamic economic dispatch menjadi (2-5)

$$F_T = \min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N f_i (P_i^t) \quad (2-5)$$

Dimana $f_i(P_i)$ adalah fungsi biaya dari generator ke-i dan P_i^t adalah luaran daya dari generator ke-i pada waktu t, $\forall i \in \{1,2,3,...,N\}$ dan $\forall t \in \{1,2,3,..., T\}$.

Sesuai dengan keadaan nyata dari karakteristik unit pembangkit bahwa fungsi tujuan di atas memiliki beberapa kendala, baik kendala persamaan maupun kendala pertidaksamaan. Daya keluaran tiap pembangkit harus dibawah daya maksimum yang diperbolehkan dan di atas daya minimum yang diperbolehkan pada tiap unit. Keluaran daya dari generator idealnya bekerja di dalam batasan antara daya maksimum dan daya minimum (2-6). Batasan ini perlu diperhatikan agar luaran yang diharapkan dari perhitungan sesuai dengan luaran yang diberikan oleh unit pembangkit.

$$P_{min,i} \leq P_i \leq P_{maks,i} \quad (2-6)$$

Batas minimum dan maksimum dari generator pada permasalahan dynamic economic dispatch menjadi menarik karena pengaruh dari batasan ramp rate generator. Batasan *ramp-rate* adalah besaran laju perubahan daya luaran per satuan waktu atau laju respon dari pembangkit. Variabel waktu dari dynamic economic dispatch berakibat pada penentuan batas maksimum dan minimum generator tiap waktu akan bervariasi bergantung luaran daya pada waktu sebelumnya dan batasan maksimum dan minimum desain. Pada ramp-rate juga terdapat laju nilai naik (UR) dan laju nilai turun (DR). Batasan *ramp-rate* digunakan untuk mencegah efek yang tidak diinginkan akibat perubahan dinamis yang cepat dan melebihi kemampuan generator. Sesuai dengan karakteristik batasan ramp rate pada pembangkit pada Persamaan (2-7).

$$\begin{aligned} UR_i &\geq P_i^t - P_i^{t-1} \\ DR_i &\geq P_i^{t-1} - P_i^t \end{aligned} \quad (2-7)$$

Tentunya untuk kondisi pembangkitan yang sesuai dibutuhkan batasan kesetimbangan daya yang menyatakan jumlah luaran pembangkitan daya pada waktu t harus lebih atau sama dengan daya permintaan pada waktu t P_D^t kondisi ini agar daya yang dibangkitkan optimal sesuai dengan daya yang dibutuhkan, ditunjukkan pada Persamaan (2-8)

$$\sum_{i=1}^N P_i^t = P_D^t \quad (2-8)$$

2.5. Artificial Bee Colony

Dalam kehidupan nyata, beberapa tugas koloni lebah dilakukan oleh individu-individu khusus. Lebah khusus ini mencoba memaksimalkan

jumlah nektar yang tersimpan di sarang dengan menggunakan pembagian kerja dan pengorganisasian yang efisien. Algoritma Artificial Bee Colony (ABC), adalah algoritma optimasi yang mensimulasikan perilaku kawanan lebah dalam mencari sumber-sumber makan [7]. Pemodelan algoritma ABC digambarkan terdiri dari tiga jenis lebah: lebah pekerja (employed bees), lebah penonton (onlooker bees), dan lebah pengintai (scout bee).

Sepuluh dari koloni tersebut terdiri dari lebah pekerja, dan sepuluh lainnya termasuk lebah penonton. Lebah pekerja bertugas mengeksplorasi sumber nektar yang telah dieksplorasi sebelumnya dan memberikan informasi kepada lebah penonton tentang kualitas sumber makanan yang mereka eksploitasi. Lebah penonton yang menunggu di sarang memutuskan sumber makanan mana yang akan dieksplorasi selanjutnya berdasarkan informasi yang diberikan oleh lebah pekerja. Lebah pengintai akan secara acak mencari lingkungan baru untuk menemukan sumber makanan baru tergantung pada motivasi internal atau berdasarkan kemungkinan petunjuk dari luar .

Perilaku lebah dalam mencari sumber makanan ini diimplementasikan ke dalam algoritma Artificial Bee Colony dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Pada tahap inialisasi awal, para lebah mulai mengeksplorasi lingkungan secara acak untuk mencari sumber makanan.
2. Setelah menemukan sumber makanan, lebah menjadi pekerja dan mulai mengeksplorasi sumber makanan yang telah ditemukan. Lebah pekerja kembali ke sarang membawa nektar dan membongkar nektar. Setelah membongkar nektar, lebah pekerja dapat kembali ke situs sumber makanan atau dapat berbagi informasi tentang situs sumber makanannya dengan melakukan tarian (waggle dance) di area tarian. Jika sumber makanan habis, lebah pekerja akan menjadi lebah pengintai dan mulai mencari sumber baru secara acak.
3. Lebah penonton menunggu di sarang dan menonton tarian petunjuk lokasi sumber-sumber makanan yang menguntungkan dan memilih situs sumber makanan tergantung pada frekuensi tarian yang sebanding dengan kualitas sumbernya[7][8].

Dalam algoritma ABC yang diusulkan oleh Karaboga, posisi sumber makanan merupakan solusi optimasi dan jumlah nektar sumber makanan merupakan profitabilitas (kebugaran) dari solusi yang terkait. Setiap sumber makanan dieksplorasi hanya oleh satu lebah pekerja.

Dengan kata lain, jumlah lebah pekerja sama dengan jumlah sumber makanan yang ada. Lebah pekerja yang sumber makanannya telah habis akan menjadi lebah pengintai.

Dengan menggunakan analogi kecerdasan yang muncul dalam mencari makan lebah dan algoritma ABC, unit-unit algoritma ABC dasar dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Produksi Sumber Makanan Awal

Implementasi algoritma dimulai dengan menentukan sumber makanan secara acak yang sesuai dengan solusi di ruang pencarian. Sumber makanan awal diproduksi secara acak dalam batasan-batasan parameter yang telah ditentukan.

$$X_{ij} = X_{j \min} + \text{rand}(0,1) (X_{j \max} - X_{j \min}) \quad (2-9)$$

Dimana $i = 1..SN$, $j = 1..D$. SN adalah jumlah sumber makanan dan D adalah jumlah parameter yang akan dioptimasi.

Setelah proses inisialisasi, populasi sumber makanan (solusi) dikenai siklus pengulangan pada fase lebah pekerja, lebah penonton dan lebah pengintai. Kriteria penghentian siklus pengulangan algoritma ABC akan terjadi saat siklus pengulangan mencapai jumlah siklus maksimum.

2. Pengiriman Lebah Pekerja ke Lokasi Sumber Makanan

Masing-masing lebah pekerja dipasangkan hanya dengan satu sumber makanan. Oleh karena itu, jumlah situs sumber makanan sama dengan jumlah lebah yang pekerja. Lebah pekerja menghasilkan nilai modifikasi posisi sumber makanan dalam ingatannya tergantung pada informasi lokal (informasi visual) dan menemukan sumber makanan tetangga, dan kemudian mengevaluasi kualitasnya. Di ABC, sumber makanan tetangga didefinisikan pada rumus (2-10).

$$V_{ij} = X_{ij} + \theta_{ij} (X_{ij} - X_{kj}) \quad (2-10)$$

Dimana V_{ij} adalah posisi baru dari sumber makanan ke-I untuk komponen ke-J, sedangkan X_{ij} adalah posisi lama dari sumber makanan ke-I untuk komponen ke-J. $I = 1,2, \dots, SN$; $J = 1,2, \dots, n$; $k = 1,2, \dots, SN$. Dimana SN adalah jumlah dari lebah pekerja.

Jika nilai parameter yang dihasilkan melebihi batas yang telah ditentukan, parameter dapat diatur ke nilai yang dapat diterima, dimana nilai parameter yang melebihi batas boundary-nya diatur sama dengan batas boundary-nya. Jika $x_i > x_i^{max}$ maka $x_i = x_i^{max}$. Sebaliknya, jika $x_i < x_i^{min}$ then $x_i = x_i^{min}$. Setelah mendapatkan nilai v_i yang memuaskan, nilai fitness untuk solusi v_i didapatkan dengan perhitungan rumus (2-11).

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i) & , f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & , f_i < 0 \end{cases} \quad (2-11)$$

Dimana f_i adalah nilai biaya dari solusi v_i . Nilai yang lebih baik dipilih tergantung pada nilai fitness yang mewakili jumlah nektar sumber makanan di x_i dan v_i . Jika sumber makanan v_i lebih tinggi daripada x_i , lebah pekerja akan mengingat posisi baru dan melupakan yang lama. Jika tidak posisi sebelumnya disimpan di memori.

3. Perhitungan nilai probabilitas yang meliputi seleksi probabilitas
Setelah semua lebah bekerja menyelesaikan pencarian mereka, mereka berbagi informasi yang berkaitan dengan jumlah nektar dan posisi sumber makanan dengan lebah penonton di areatarian. Lebah penonton mengamati informasi nektar yang diambil dari semua lebah pekerja dan memilih lokasi sumber makanan dengan probabilitas yang tinggi. Seleksi probabilitas ini bergantung pada solusi nilai fitness pada populasi tersebut. Nilai fitness didapatkan melalui persamaan (2-12).

$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (2-13)$$

Dalam skema seleksi probabilistik ini, karena jumlah nektar sumber makanan (fitness of solutions) meningkat, jumlah penonton yang berkunjung meningkat juga.

4. Pemilihan sumber makanan oleh lebah penonton
Masing-masing sumber makanan dihasilkan dari bilangan acak dengan kisaran $[0,1]$. Jika nilai probabilitas lebih besar dari angka acak ini maka lebah penonton menghasilkan modifikasi

pada posisi lokasi sumber makanan ini dengan menggunakan Persamaan. (2-10) Setelah sumber dievaluasi, pemilihan acak diterapkan dan lebah penonton menghafal posisi baru dengan melupakan yang lama atau menyimpan yang lama. Proses ini berulang sampai semua lebah penonton didistribusikan ke situs sumber makanan.

5. Kriteria Limit dan Lebah Pengintai

Setelah semua lebah pekerja dan lebah penonton menyelesaikan pencarian mereka, algoritma tersebut memeriksa apakah ada sumber yang telah dieksploitasi habis. Untuk memutuskan apakah sebuah sumber harus ditinggalkan dapat digunakan counter yang akan selalu diperbarui selama pencarian. Jika nilai counter lebih besar dari parameter kontrol algoritma ABC (limit), maka sumber dapat diasumsikan sudah habis dan dapat ditinggalkan.

Dalam ABC, diasumsikan bahwa hanya satu sumber yang bisa habis dalam setiap siklus, dan hanya satu lebah yang dapat digunakan menjadi lebah pengintai.

Pseudocode algoritma *Artificial Bee Colony* adalah sebagai berikut [1]:

1. Inisialisasi

Meliputi data pembangkitan serta parameter algoritma *Artificial Bee Colony* (Besar koloni (NP) Jumlah sumber makanan (FoodNumber) limit, iterasi (MaxCycle))

2. Penentuan posisi

3. Menerapkan kriteria seleksi

4. Memperbolehkan lebah pekerja membagi informasi makanan pada lebah penonton

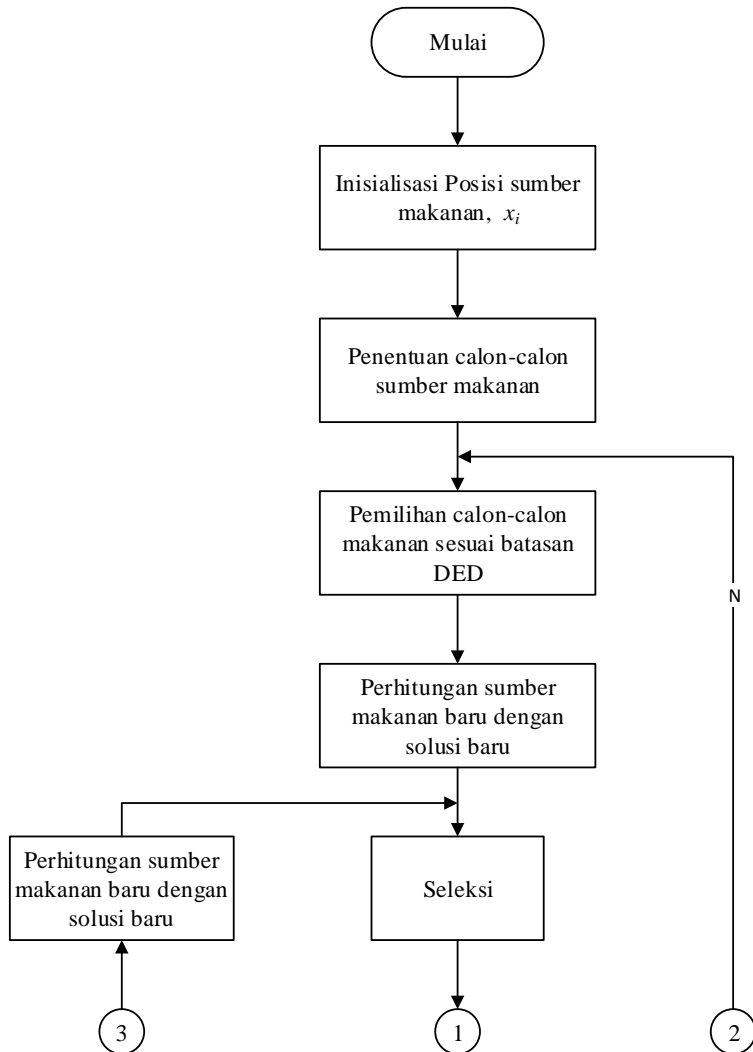
5. Memperbolehkan lebah penonton untuk memilih makanan sumber makanan terbaik berdasarkan perhitungan probabilitas

6. Menerapkan kriteria seleksi

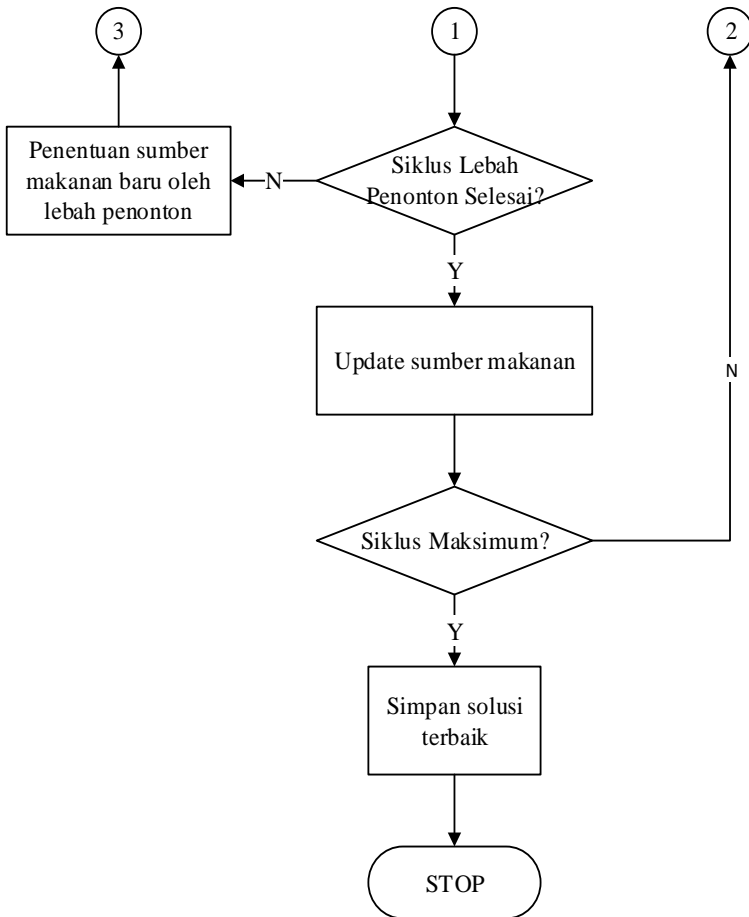
7. Cek solusi yang berlimpah, dan (jika ada) inisiasi posisi sumber makanan baru. Jika tidak, ikuti langkah selanjutnya

8. Mempertahankan solusi terbaik.

9. Ulangi (Siklus 4-8) hingga aturan penghentian oleh lebah pengintai.



Gambar 2. 6 Flowchart kerja sistem Artificial Bee Colony



Gambar 2. 7 Flowchart kerja sistem *Artificial Bee Colony* (lanjutan)

2.6. Improved Artificial Bee Colony

Improved Artificial Bee Colony merupakan pengembangan dari Artificial Bee Colony. Pada improved artificial bee colony, selain menggunakan parameter kontrol pada artificial bee colony, terdapat

parameter tambahan yaitu, Modification Rate (MR) dan Scaling Factor (SF) dimana dua parameter ini yang akan mengontrol frekuensi pertubasi [9]. Berdasarkan hal tersebut kita dapat memodifikasi nilai update sumber makanan pada rumus (2-14) menjadi

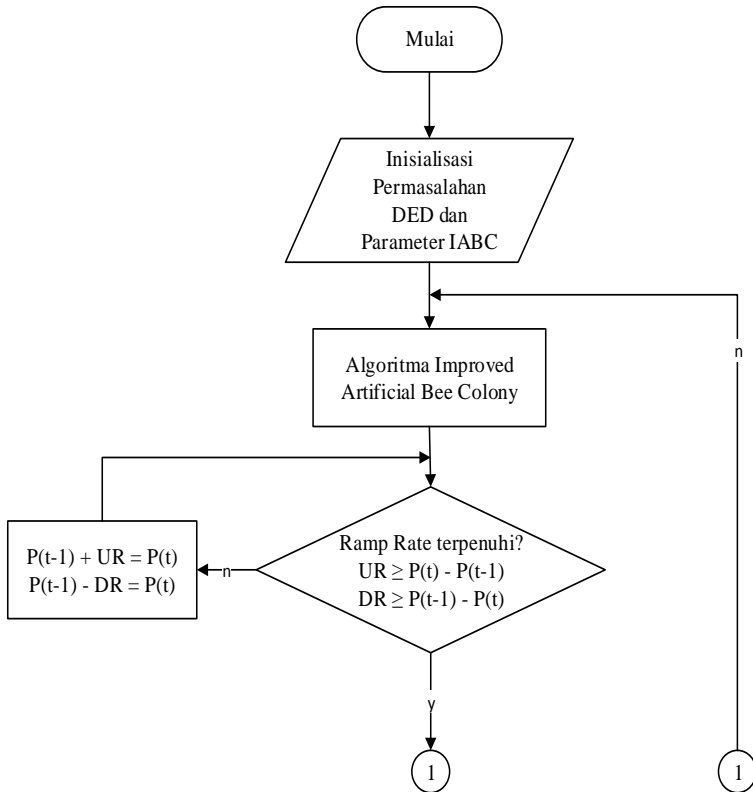
$$v_{ij} = \begin{cases} x_{aj} + SF(x_{ij} - x_{bj}), & R_{ij} \leq MR \\ x_{ij}, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2-14)$$

BAB III

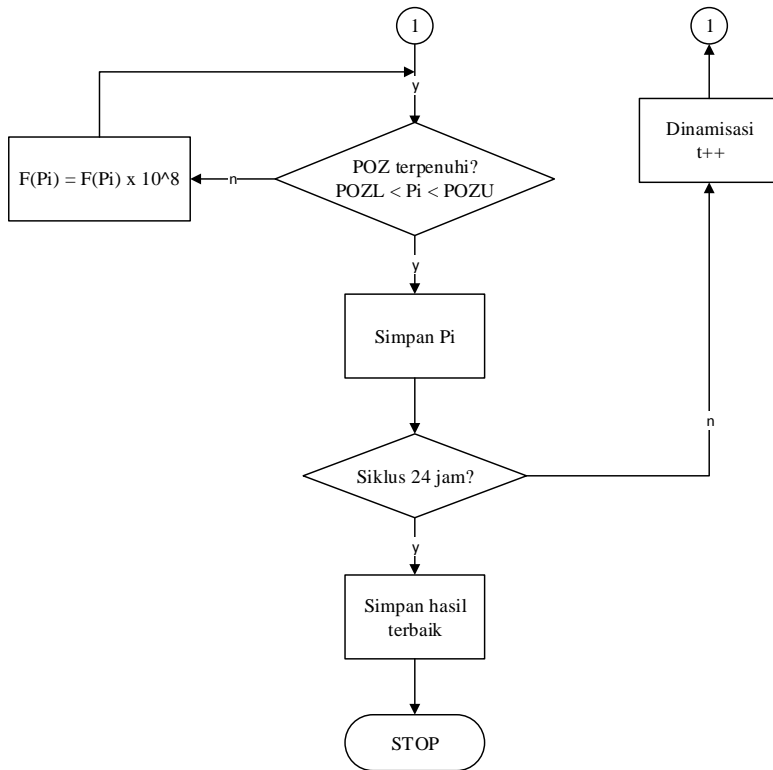
IMPLEMENTASI ALGORITMA IMPROVED ARTIFICIAL BEE COLONY PADA PERMASALAHAN DED-POZ

3.1. Penerapan Algoritma Improved Artificial Bee Colony

Algoritma *improved artificial bee colony* (IABC) merupakan metode yang akan digunakan dalam menyelesaikan perhitungan biaya ekonomis pada permasalahan *dynamic economic dispatch* (DED). Bentuk alur dapat dilihat pada *flowchart* gambar 3.1



Gambar 3. 1 *Flowchart* implementasi IABC-DED



Gambar 3. 2 Flowchart implementasi IABC-DED (lanjutan)

Penjelasan *flowchart* :

1. Inisialisasi input program dan data sistem yang akan dioptimasi. Input program berupa besar koloni, jumlah sumber makanan (NP), limit, nilai *modification rate* (MR), *scaling factor* (SF) dan maksimal iterasi (MaxCycle) yang akan dijalankan. Sedangkan data sistem adalah data unit generator, nilai *cost function*, *ramp rate*, POZ, dan total beban yang diminta (Pd).
2. Penentuan calon-calon kandidat makanan yang akan dibandingkan para lebah, makanan adalah representasi dari daya output generator yang nantinya akan dioptimasi.

3. Pengecekan calon makanan satu persatu dan akan diambil informasinya oleh lebah-lebah. Nantinya lebah akan menentukan apakah sumber makanan tersebut perlu di *update* lokasinya atau tidak.
4. Pengecekan kandidat makanan terbaik akan dilakukan dengan mempertimbangkan batasan operasional *ramp rate* dan *prohibited operating zones*, apakah kandidat yang dihasilkan memuaskan.
5. Setelah itu setiap kandidat makanan akan dihitung biaya pembangkitannya dan akan dihitung nilai *fitness* dari masing-masing kandidat yang ada. Kandidat makanan dengan biaya termurah akan disimpan untuk sementara waktu yang nantinya akan dibandingkan dengan calon kandidat terbaik dari iterasi selanjutnya.
6. Proses ini akan berlangsung secara terus menerus dan akan berhenti jika iterasi maksimum tercapai.
7. Ketika iterasi maksimum tercapai, maka daya output generator dengan biaya pembangkitan termurah akan ditampilkan. [10]

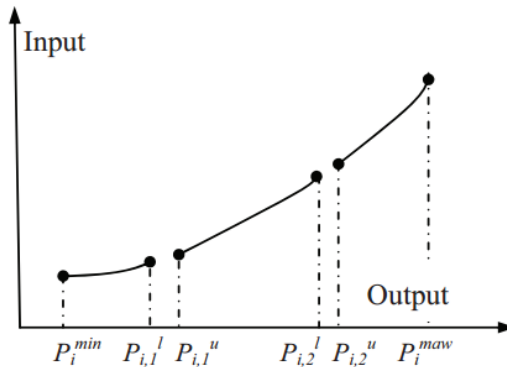
3.2. Prohibited Operating Zones

Dalam praktek nyata, nilai profil kurva karakteristik input-output di sekitar POZ didasarkan pada catatan operasi atau kinerja aktual unit pembangkit. Penjelasan tentang POZ pada unit pembangkit ditunjukkan pada rumus (3-1).

$$P_i^t = \begin{cases} P_{i,min} \leq P_i^t \leq P_{i,1}^l \\ P_{i,j-1}^u \leq P_i^t \leq P_{i,j}^l \\ P_{i,ni}^u \leq P_i^t \leq P_{i,max} \end{cases} \quad (3-1)$$

$$j = 2,3, \dots, n_i, t = 1,2, \dots, T$$

Dimana n_i adalah jumlah POZ dari generator. $P_{i,j}^l$ dan $P_{i,j}^u$ adalah batas bawah dan batas atas dari daya output POZ. Gambar kurva POZ seperti ditunjukkan pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3. 3 Kurva Karakteristik Input-Output Dynamic Economic Dispatch dengan POZ [7]

3.3. Permasalahan Dynamic Economic Dispatch dengan Algoritma IABC

Pada subbab ini membahas tentang perancangan serta penerapan algoritma *Improved Artificial Bee Colony* (IABC) untuk permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* (DED) dengan mempertimbangkan Prohibited Operating Zones. Hasil yang diharapkan yaitu biaya pembangkitan paling minimum dari beberapa unit pembangkit thermal. Berikut tahapan yang dilakukan dalam pemrograman.

3.3.1. Inisialisasi Awal IABC

Pada proses inisialisasi, proses yang dilakukan adalah dengan menentukan sistem yang akan dioptimasi. Pada tugas akhir ini mengusulkan sistem IEEE 6 generator dan sistem IEEE 15 generator dengan pembanding menggunakan metode *Improved Bee Algorithm* (IBA) [2].

3.3.1.1. Parameter – parameter IABC

Parameter-parameter IABC yang ditujukan untuk menyelesaikan permasalahan DED terdiri dari

1. Sumber makanan (FoodNumber), Parameter yang menentukan banyaknya calon solusi daya dalam satu kali iterasi.
2. Jumlah koloni lebah (NP), Parameter yang menentukan banyaknya fase lebah pekerja dan fase lebah penonton
3. Batas (*limit*), Nilai batas eksploitasi pencarian nilai solusi daya baru dalam satu kali iterasi.
4. Siklus Maks (MaxCycle), Nilai iterasi untuk pencarian nilai minimal fungsi biaya. Proses iterasi memungkinkan mengulangi eksplorasi sebanyak nilai siklus maksimum-nya.
5. *Modification rate* (MR) dan *Scaling Factor* (SF), Parameter kontrol yang menentukan apakah nilai solusi daya acak perlu diperbarui atau tidak.

Tabel 3. 1 Tabel korelasi IABC dan DED

Parameter	Keterangan
Koloni lebah (NP)	Jumlah lebah pekerja, lebah penonton, dan lebah pengintai
Lebah Pekerja	Pecarian solusi daya awal yang dicari
Lebah Penonton	Pencarian solusi daya terbaik yang diupdate
Lebah Pengintai	Pencarian sumber solusi daya baru
Sumber makanan (FoodNumber)	Jumlah calon solusi daya dalam satu kali iterasi.
Batas (Limit)	Nilai batas eksploitasi nilai solusi daya baru
Siklus maksimum	Nilai iterasi untuk pencarian nilai minimal fungsi biaya
Runtime	Berapa kali program berjalan
Modification Rate (MR) dan Scaling Factor (SF)	Parameter kontrol pertubasi

3.3.1.2. Implementasi POZ pada IABC

Pada pengkodean fungsi objektif algoritma IABC perlu diimplementasikan perumusan POZ agar keluaran yang diinginkan menunjukkan hasil yang memuaskan. Untuk mengatasi pembangkitan yang melanggar batasan POZ pada pengkodean IABC, dirumuskan

$$P_i^t = \begin{cases} P_i^l < P_i^t < P_i^u, F_i^t = F_i^t \times 10^8 \\ \text{lainnya}, F_i^t = F_i^t \end{cases} \quad (3-2)$$

Dengan perumusan seperti diatas maka lebah akan mengeliminasi pembangkitan yang berada pada zona POZ tersebut, hal ini disebut *penalty factor*.

3.3.1.3. Sistem IEEE 6 Unit Generator

Pada sistem IEEE 6 generator terdiri dari data fungsi biaya, data kapasitas *limit* generator, batasan *ramp rate* dan POZ untuk 6 unit pembangkit termal.

Tabel 3. 2 Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 6 Unit Generator

Unit	Cost Function			Pmin (MW)	Pmax (MW)	Ramp Up	Ramp Down
	a	b	c				
1	0.0070	7	240	100	500	80	120
2	0.0095	10	200	50	200	50	90
3	0.0090	8.5	220	80	300	65	100
4	0.0090	11	200	50	150	50	90
5	0.0080	10.5	220	50	200	50	90
6	0.0075	12	190	50	120	50	90

Tabel 3. 3 Data POZ Sistem IEEE 6 Unit Generator

Unit	POZ (MW)	
1	[210 240]	[350 380]
2	[90 110]	[140 160]
3	[150 170]	[210 240]
4	[80 90]	[110 120]
5	[90 110]	[140 150]
6	[75 85]	[100 105]

3.3.1.4. Sistem IEEE 15 Unit Generator

Pada sistem IEEE 15 generator terdiri terdapat 15 unit pembangkit termal. Berikut ini adalah data yang akan menjadi input program utama. Perlu diketahui tugas akhir berikut tidak mencantumkan rugi transmisi.

Tabel 3. 4 Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 15 Unit Generator

Unit	Cost Function			Pmin (MW)	Pmax (MW)	Ramp Up	Ramp Down
	a	b	c				
1	0.000290	10.1	671	150	455	80	120
2	0.000183	10.2	574	150	455	80	120
3	0.001126	8.8	374	20	130	130	130
4	0.001126	8.8	374	20	130	130	130
5	0.000205	10.4	461	150	470	80	120
6	0.000301	10.1	630	135	460	80	120

Tabel 3. 5 Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 15 Unit Generator

Unit	Cost Function			Pmin (MW)	Pmax (MW)	Ramp Up	Ramp Down
	a	b	c				
7	0.000364	9.8	548	135	465	80	120
8	0.000338	11.2	227	60	300	65	100
9	0.000807	11.2	173	25	162	60	100
10	0.001203	10.7	175	25	160	60	100
11	0.003586	10.2	186	20	80	80	80
12	0.005513	9.9	230	20	80	80	80
13	0.000371	13.1	225	25	85	80	80
14	0.001929	12.1	309	15	55	55	55
15	0.004447	12.4	323	15	55	55	55

Tabel 3. 6 Data POZ Sistem IEEE 15 Unit Generator

Unit	POZ (MW)		
2	[185 225]	[305 335]	[420 450]
5	[90 110]	[140 150]	[390 420]
6	[75 85]	[100 105]	[430 455]
12	[30 40]	[55 65]	

3.3.1.5. Pemilihan Kandidat Solusi yang Sesuai

Kandidat-kandidat solusi adalah kombinasi acak dari calon solusi daya output tiap unit pembangkit, maka setiap kandidat solusi akan dipilih berdasarkan data serta batasan-batasan operasi *dynamic economic dispatch* pada sistem [10].

3.3.2. Penentuan Biaya Pembangkitan Total

Biaya pembangkitan yang dihitung dengan menggunakan *cost function* pada tabel 3.2 untuk sistem IEEE 6 unit generator dan pada tabel 3.4 untuk sistem IEEE 15 unit generator dengan memperhatikan batasan-batasan ramp rate. Nilai biaya pembangkitan termal yang dihasilkan tidak boleh berada diantara zona POZ seperti yang terdapat pada tabel 3.3 untuk sistem IEEE 6 unit generator dan pada tabel 3.5 untuk sistem IEEE 15 unit generator. Setelah syarat batasan ramp rate dan POZ terpenuhi, kemudian nilai biaya pembangkitan makanan dimasukkan ke dalam update nilai sumber makanan.

3.3.3. Update Sumber Makanan Lebah

Setelah memperoleh biaya pembangkitan, dilakukan pengurutan sumber makanan dimana dicari biaya total pembangkitan paling ekonomis berdasarkan *objective function*.

Pada algoritma *artificial bee colony*, penentuan lokasi sumber makanan mula-mula akan ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$X_{ij} = X_{j \min} + rand(0,1) (X_{j \max} - X_{j \min}) \quad (3.1)$$

Dimana $X_{j \min}$ adalah batas bawah dari generator ke j dan $X_{j \max}$ adalah batas atas dari generator ke-j.

Ketika lebah pekerja mendatangi sumber makanan X_{ij} , maka lebah pekerja akan mengupdate posisi dari sumber makanan berdasarkan informasi nektar yang terbaik yang ada disekitarnya saat itu. Lokasi sumber makanan yang baru dapat diperoleh dengan rumus:

$$V_{ij} = X_{ij} + \theta_{ij} (X_{ij} - X_{kj}) \quad (3.2)$$

Dimana V_{ij} adalah solusi baru dari sumber makanan ke-I untuk komponen ke-J, sedangkan X_{ij} adalah solusi ke i dari generator ke j. $I =$

1,2, ..., SN ; J = 1,2, ..., n ; k = 1,2, ..., SN . Dimana SN adalah jumlah dari lebah pekerja.

Improved artificial bee colony persamaan 3.2 akan dimodifikasi menjadi:

$$V_{ij} = \begin{cases} X_{ij} + SF (X_{ij} - X_{kj}), & \text{if } R_{ij} \leq MR \\ X_{ij} & \end{cases} \quad (3.3)$$

Dimana R_{ij} adalah angka acak yang berada diantara range [0,1]. MR adalah *modification rate* yang mempunyai nilai antara 0 sampai dengan 1 sebagai parameter kontrol pertubasi.

Untuk mengatur keberagaman dari solusi yang didapat, nilai θ_{ij} dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Pada *improved artificial bee colony* nilai θ_{ij} dapat diatur sesuai dengan keinginan antara $-SF$ sampai dengan SF . Nilai SF yang kecil akan menyebabkan pencarian solusi terbaik berjalan dengan *step* yang kecil, tentunya hal ini akan membuat konvergensi menjadi lama. Sedangkan nilai SF yang besar akan mempercepat pencarian solusi terbaik tetapi akan mereduksi tingkat eksploitasi dari proses pengacakan [11].

3.3.4. Hasil Biaya Total

Setelah semua proses selesai, program akan menampilkan hasil biaya pembangkitan per jam per unit, total biaya pembangkitan per jam, dan pembagian pembangkitan per jam per unit. Serta memunculkan grafik konvergensi IABC untuk menyelesaikan permasalahan *dynamic economic dispatch* pada sistem IEEE 6 unit generator dan sistem IEEE 15 unit generator.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan diuraikan data hasil pengujian *dynamic economic dispatch* mempertimbangkan *prohibited operating zones*. Pengujian optimasi *dynamic economic dispatch* ini bertujuan untuk menguji algoritma *Improved Artificial Bee Colony* yang dirancang untuk mendapatkan nilai optimal dan dapat memenuhi kendala-kendala optimasi yang diberikan.

Pengujian optimasi sistem dilakukan sebanyak 3 (tiga) studi kasus, yaitu:

1. *Dynamic Economic Dispatch* dengan data sistem IEEE 6 unit generator tanpa mempertimbangkan *prohibited operating zones*.
2. *Dynamic Economic Dispatch* dengan data sistem IEEE 6 unit generator dengan mempertimbangkan *prohibited operating zones*.
3. *Dynamic Economic Dispatch* dengan data sistem IEEE 15 unit generator dengan mempertimbangkan *prohibited operating zones*.

Pemodelan sistem diolah dan disusun dengan software MATLAB.

Pada algoritma *Improved Artificial Bee Colony*, terdapat 7 macam parameter yang dapat dioptimalkan yaitu :

1. Jumlah koloni lebah
2. Jumlah sumber makanan
3. Limit
4. Siklus maksimum
5. Runtime
6. Modification rate
7. Scaling Factor

4.1. Sistem IEEE 6 Unit Generator Tanpa POZ

Pada kasus ini, pengujian algoritma dilakukan dengan menggunakan sistem IEEE 6 unit generator. Simulasi DED ini dilakukan untuk mengetahui kondisi dari nilai optimasi, pengaruh parameter algoritma dan perbandingan perhitungan algoritma. Selain itu, pengujian algoritma dengan sistem IEEE 6 unit generator tanpa mempertimbangkan POZ ini dilakukan untuk menentukan parameter mana yang tepat

digunakan untuk perhitungan studi kasus. Pencarian nilai optimasi diharuskan memenuhi kendala operasi, batasan generator, batasan *ramp-rate* tiap unit serta kesetimbangan daya. Parameter karakteristik pembangkit terdapat pada Tabel 4.1 dan permintaan daya tiap waktu selama 24 jam seperti pada Tabel 4.2.

Hasil Simulasi Sistem IEEE 6 Unit Generator Tanpa POZ dilakukan untuk mengetahui nilai optimasi, pengaruh parameter algoritma dan perbandingan perhitungan algoritma. Pencarian nilai optimasi diharuskan memenuhi kendala operasi, batasan generator, batasan *ramp-rate* tiap unit serta kesetimbangan daya.

Tabel 4. 1 Parameter IABC

Parameter	Simbol	Nilai (IABC)
Jumlah koloni lebah	NP	500
Jumlah sumber makanan	FoodNumber	250
Limit	Limit	200
Siklus maksimum	MaxCycle	200
Runtime	Runtime	1
Modification Rate	MR	0.4
Scaling Factor	SF	1

Tabel 4. 2 Permintaan Daya Beban 24 Jam IEEE 6 Unit Generator

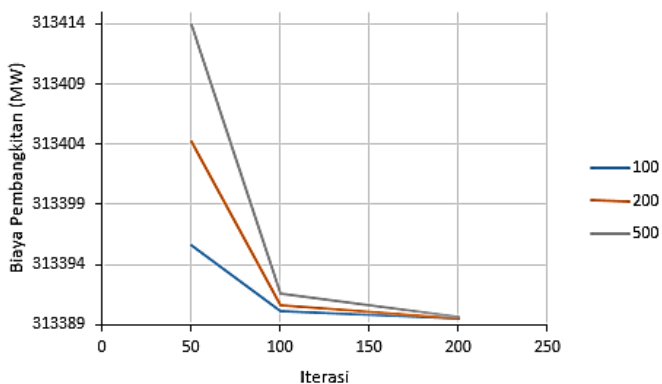
Jam	Beban (MW)	Jam	Beban (MW)	Jam	Beban (MW)	Jam	Beban (MW)
1	963	7	997	13	1263	19	1170
2	949	8	1032	14	1276	20	1102
3	942	9	1136	15	1262	21	1031
4	937	10	1160	16	1233	22	992
5	942	11	1212	17	1213	23	983
6	971	12	1247	18	1263	24	967

Pengujian dilakukan dengan kondisi parameter algoritma yang bervariasi khususnya, besar koloni dan siklus pencarian yang bervariasi. Variasi kombinasi dari dua parameter algoritma untuk pengujian dan hasil pengujian algoritma *Improved Artificial Bee Colony* pada sistem mendapatkan hasil pencarian biaya minimum dari pembangkitan sistem tampak pada Tabel 4.3.

Biaya rata-rata pembangkitan yang diperoleh dengan menggunakan algoritma IABC menunjukkan parameter algoritma yaitu besar koloni dan nilai siklus berpengaruh terhadap biaya pembangkitan daya. Semakin besar koloni dan jumlah siklus menghasilkan biaya yang lebih minimal, namun membuat komputasi menjadi lama. Gambar 4.1 adalah grafik perbandingan jumlah koloni dan pengaruh banyak siklus. Pada perhitungan kali ini akan digunakan nilai besar koloni adalah 500 dan siklus maksimal adalah 200.

Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Pencarian Biaya Berdasarkan Variasi Parameter

Besar Koloni	Siklus	Biaya (\$/h)	Waktu Komp. (s)
500	200	313389.50	396.28
	100	313390.10	188.05
	50	313395.60	91.25
200	200	313389.50	165.87
	100	313390.60	75.13
	50	313404.20	37.07
100	200	313389.60	82.12
	100	313391.60	41.10
	50	313413.90	20.01



Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh Parameter Terhadap Biaya Pembangkitan

Tabel 4. 4 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam

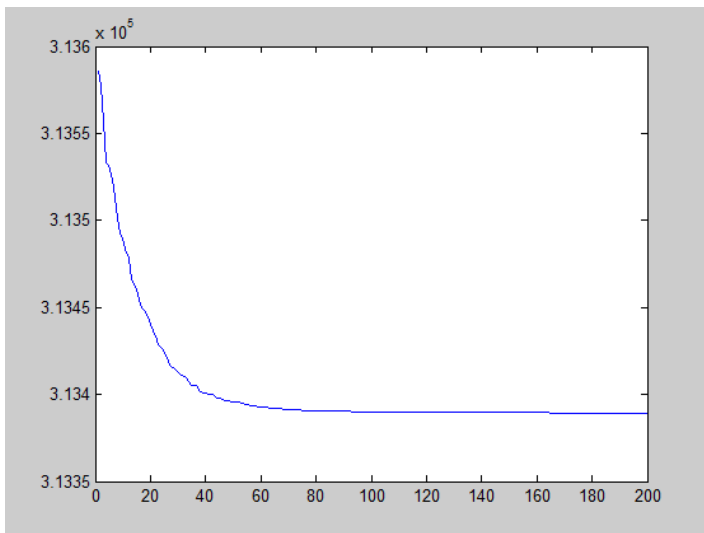
Jam	P total	Unit		
		1	2	3
1	963	382.81	124.09	214.39
2	949	379.52	121.65	211.83
3	942	377.77	120.44	210.60
4	937	376.59	119.54	209.49
5	942	377.70	120.35	210.53
6	971	384.64	125.46	216.01
7	997	390.95	130.17	220.66
8	1032	399.39	136.41	227.30
9	1136	421.87	153.06	244.67
10	1160	426.44	156.42	248.33
11	1212	436.76	163.92	256.44
12	1247	443.54	168.84	261.57
13	1201	434.56	162.30	254.52
14	1263	446.78	171.28	264.19
15	1276	449.55	172.89	266.01
16	1262	446.52	171.06	263.82
17	1233	440.93	166.93	259.45
18	1213	436.82	163.98	256.43
19	1170	428.38	157.88	249.72
20	1102	415.07	148.05	239.33
21	1031	399.02	136.18	227.05
22	992	389.68	129.25	219.81
23	983	387.48	127.71	218.07
24	967	383.80	124.77	215.18

Tabel 4. 5 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam (lanjutan)

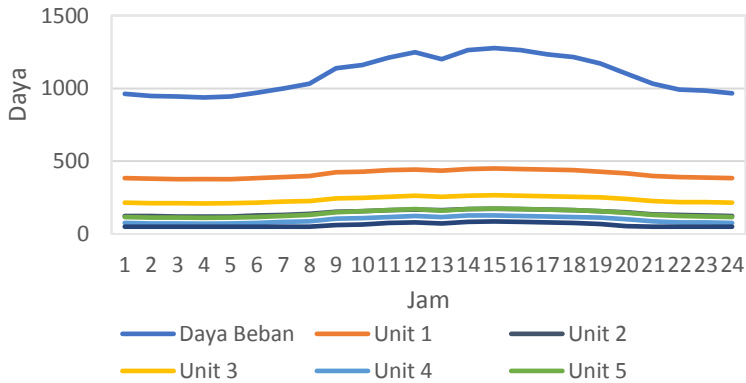
Jam	P total	Unit		
		4	5	6
1	963	75.41	116.29	50.00
2	949	72.83	113.14	50.00
3	942	71.44	111.72	50.00
4	937	70.68	110.68	50.00
5	942	71.58	111.82	50.00
6	971	77.03	117.82	50.00
7	997	81.88	123.31	50.00
8	1032	88.34	130.54	50.00
9	1136	105.84	150.24	60.29
10	1160	109.56	154.56	64.66
11	1212	117.52	163.02	74.31
12	1247	122.75	169.33	80.95
13	1201	115.68	161.56	72.35
14	1263	125.23	171.87	83.62
15	1276	127.18	174.43	85.92
16	1262	125.11	172.04	83.42
17	1233	120.57	166.95	78.14
18	1213	117.56	163.48	74.70
19	1170	110.98	156.12	66.89
20	1102	100.63	144.58	54.30
21	1031	88.33	130.40	50.00
22	992	81.02	122.22	50.00
23	983	79.29	120.43	50.00
24	967	76.27	116.96	50.00

Tabel 4. 6 Biaya Total Sistem per 24 Jam

Jam	P total	Biaya	Jam	P total	Biaya
1	963	11427.44	13	1201	14459.46
2	949	11254.74	14	1263	15275.93
3	942	11168.64	15	1276	15448.46
4	937	11107.24	16	1262	15262.68
5	942	11168.64	17	1233	14879.55
6	971	11526.42	18	1213	14616.67
7	997	11849.58	19	1170	14055.19
8	1032	12288.20	20	1102	13177.63
9	1136	13614.82	21	1031	12275.61
10	1160	13925.34	22	992	11787.26
11	1212	14603.55	23	983	11675.29
12	1247	15064.22	24	967	11476.90
Total Biaya = 313389.5					



Gambar 4. 2 Grafik Konvergensi IEEE 6 Unit Generator Tanpa POZ



Gambar 4. 3 Grafik Pembebanan Studi kasus 1

Pada Tabel 4.4, unit 3 masih melanggar batasan POZ seperti pada tabel 3.3. Metode IABC dapat dikatakan bekerja dengan baik tetapi, perlu memodifikasi program IABC agar berjalan dengan baik tanpa melanggar batasan sehingga dapat digunakan pada studi kasus dengan permasalahan batasan POZ. Tabel 4.6 menunjukkan biaya pembangkitan total adalah \$ 313389.5/h. Biaya pembangkitan didapatkan melalui perhitungan fungsi objektif *dynamic economic dispatch*.

4.2. Sistem IEEE 6 Unit Generator Dengan POZ

Pada kasus ini, pengujian algoritma dilakukan dengan menggunakan sistem IEEE 6 unit generator. Simulasi DED ini dilakukan untuk mengetahui kondisi dari nilai optimasi, pengaruh parameter algoritma dan perbandingan perhitungan algoritma. Pengujian algoritma dengan sistem IEEE 6 unit generator dengan mempertimbangkan batasan POZ. Pencarian nilai optimasi diharuskan memenuhi kendala operasi, batasan generator, batasan *ramp-rate* tiap unit serta kesetimbangan daya. Parameter algoritma IABC ditunjukkan pada tabel 4.1 dengan nilai parameter besar koloni dan siklus disamakan seperti studi kasus 1. Parameter karakteristik pembangkit disamakan seperti studi kasus 1 pada Tabel 3.2 dan permintaan daya tiap waktu selama 24 jam seperti pada Tabel 4.2.

Hasil simulasi sistem IEEE 6 unit generator dengan batasan POZ dilakukan untuk mengetahui nilai optimasi, pengaruh parameter algoritma, perbandingan perhitungan algoritma serta pengaruh batasan

POZ pada kurva karakteristik input-output generator. Pencarian nilai optimasi diharuskan memenuhi kendala operasi, batasan generator, batasan *ramp-rate* tiap unit serta kesetimbangan daya.

Tabel 4. 7 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam

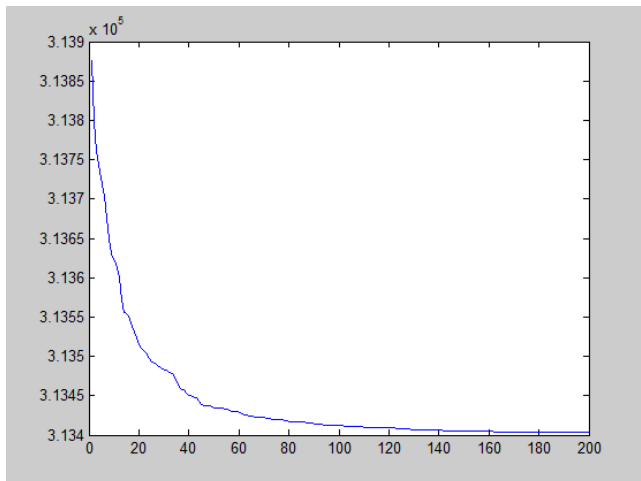
Jam	P total	Unit		
		1	2	3
1	963	383.63	125.23	209.78
2	949	380.50	120.00	207.96
3	942	380.80	123.41	205.20
4	937	381.62	121.61	206.95
5	942	380.51	122.67	204.62
7	997	395.76	134.99	209.64
8	1032	393.42	132.01	240.32
9	1136	419.15	160.37	244.10
10	1160	425.42	160.10	246.50
11	1212	435.82	163.25	256.09
12	1247	442.86	167.34	260.98
13	1201	433.34	160.92	253.18
14	1263	446.13	170.83	264.32
15	1276	449.27	172.64	266.26
16	1262	446.21	170.59	263.23
17	1233	440.61	168.07	260.56
18	1213	436.16	163.58	256.05
19	1170	428.41	160.02	250.38
20	1102	415.28	139.75	241.25
21	1031	394.41	129.20	240.30
22	992	393.30	133.09	209.99
23	983	391.42	130.68	209.95
24	967	382.46	126.71	209.59

Tabel 4. 8 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam (lanjutan)

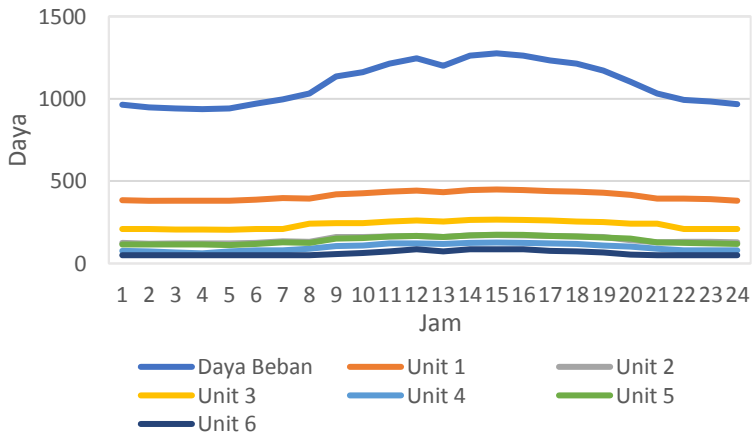
Jam	P total	Unit		
		4	5	6
1	963	77.65	116.69	50.00
2	949	74.73	115.79	50.00
3	942	68.27	114.30	50.00
4	937	61.45	115.34	50.00
5	942	72.51	111.67	50.00
6	971	78.86	118.72	50.00
7	997	79.31	127.28	50.00
8	1032	90.92	125.30	50.00
9	1136	104.85	150.59	56.92
10	1160	109.35	154.78	63.82
11	1212	120.37	162.66	73.78
12	1247	122.16	168.60	85.04
13	1201	120.01	160.80	72.71
14	1263	125.01	171.67	85.01
15	1276	127.09	174.67	86.04
16	1262	124.61	172.30	85.05
17	1233	121.49	167.32	74.93
18	1213	120.11	162.87	74.21
19	1170	109.91	155.97	65.29
20	1102	100.78	150.56	54.35
21	1031	90.02	127.04	50.00
22	992	79.81	125.79	50.00
23	983	79.61	121.31	50.00
24	967	78.63	119.59	50.00

Tabel 4. 9 Biaya Total per Jam IEEE 6 Unit Generator

Jam	P total	Biaya	Jam	P total	Biaya
1	963	11428	13	1201	14460
2	949	11255	14	1263	15276
3	942	11169	15	1276	15448
4	937	11108	16	1262	15263
5	942	11169	17	1233	14880
6	971	11527	18	1213	14617
7	997	11851	19	1170	14055
8	1032	12290	20	1102	13179
9	1136	13616	21	1031	12278
10	1160	13926	22	992	11788
11	1212	14604	23	983	11676
12	1247	15064	24	967	11477
Total Biaya = 313404					



Gambar 4. 4 Grafik Konvergensi IEEE 6 Unit Generator Dengan POZ



Gambar 4. 5 Grafik Pembebanan Studi Kasus 2

Pada Tabel 4.7, tidak ada unit pembangkit yang pembangkitannya berada pada zona POZ. Hasil pengujian studi kasus sistem IEEE 6 unit generator dengan POZ dengan batasan POZ menghasilkan keluaran yang baik. Metode IABC dianggap lebih baik dengan harga termurah yaitu, \$ 313404/h dibanding metode pembanding seperti, *Genetic Algorithm* (GA), *Improved Bee Algorithm* (IBA), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada tabel 4.13. Biaya pembangkitan didapatkan melalui perhitungan fungsi objektif *dynamic economic dispatch*.

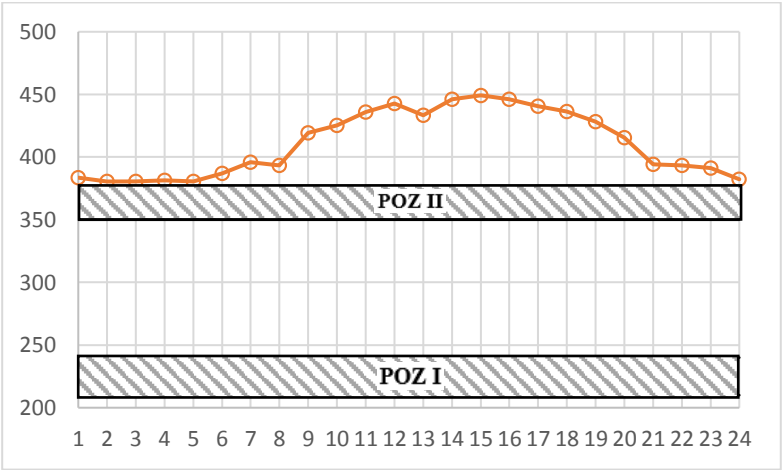
Tabel 4. 10 Komparasi Metode IEEE 6 Unit Generator Dengan POZ [2]

Metode	Total Biaya (\$)
GA	314933
IBA	313993
PSO	314134
IABC	313404

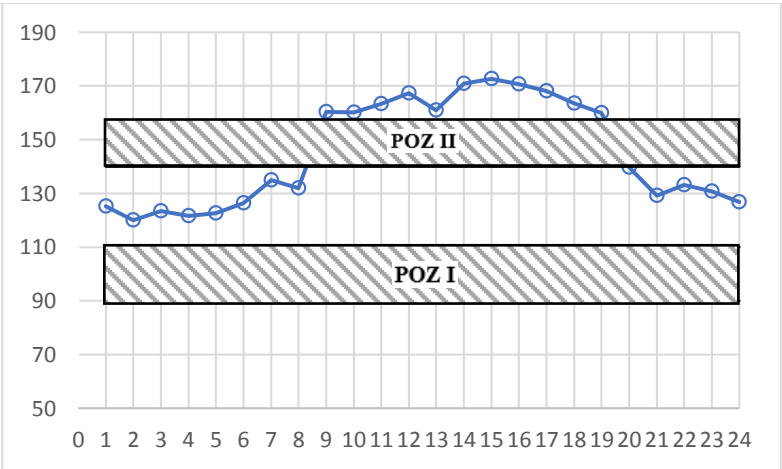
4.2.1. Validasi 6 Unit Generator dengan POZ

Dari hasil simulasi pada sistem IEEE 6 unit generator dengan POZ dapat dilihat bahwa pembagian pembebanan per unit sesuai dengan kebutuhan beban dan tidak melanggar batasan POZ. Grafik pembebanan

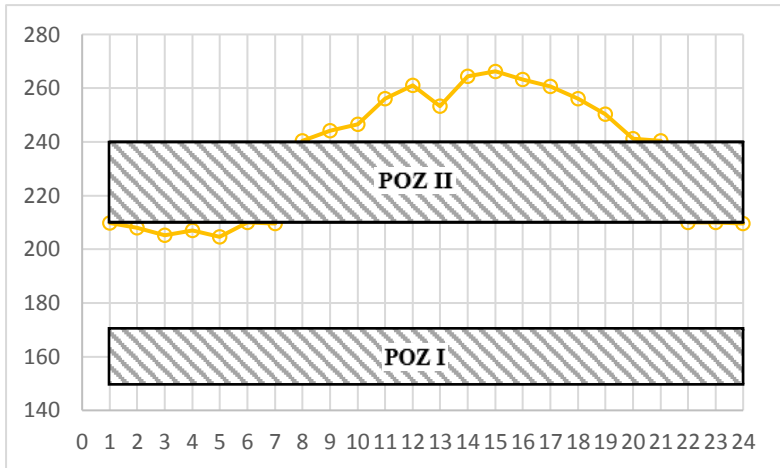
per unit sistem IEEE 6 unit generator dengan POZ dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini. POZ digambarkan dengan daerah terarsir.



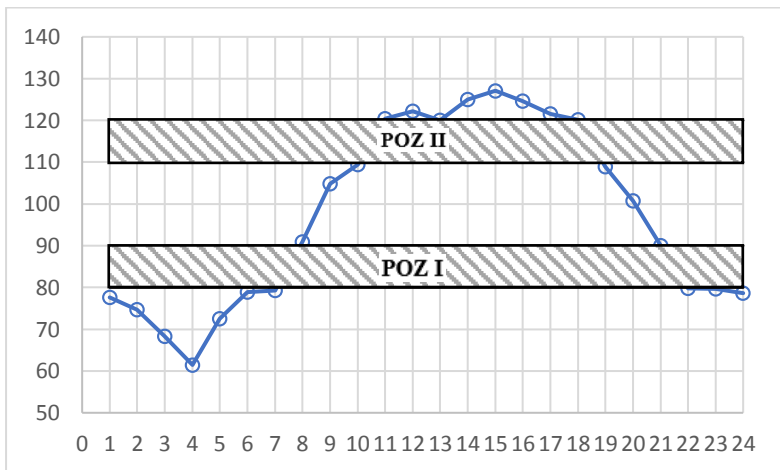
Gambar 4. 6 Grafik Pembebanan Unit 1 Studi Kasus 2



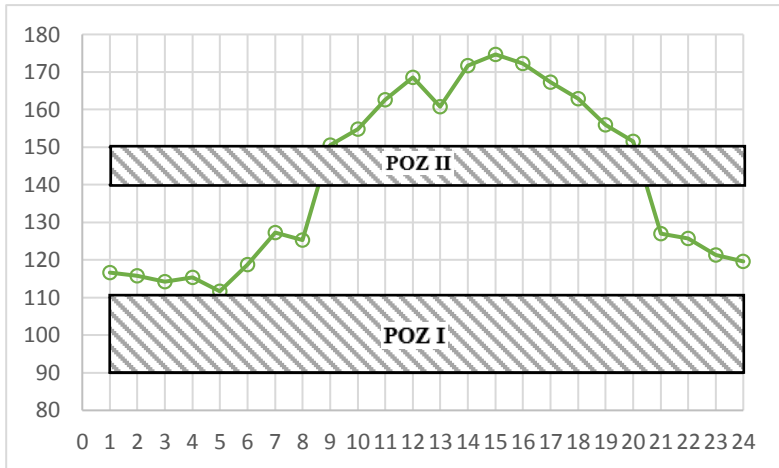
Gambar 4. 7 Grafik Pembebanan Unit 2 Studi Kasus 2



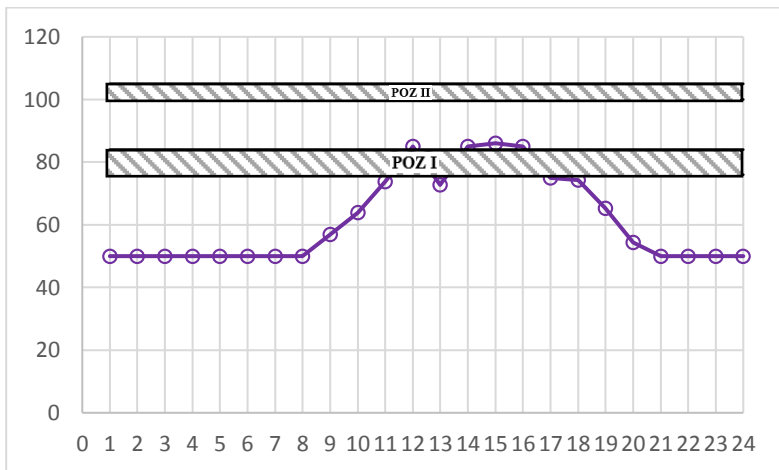
Gambar 4. 8 Grafik Pembebanan Unit 3 Studi Kasus 2



Gambar 4. 9 Grafik Pembebanan Unit 4 Studi Kasus 2



Gambar 4. 10 Grafik Pembebanan Unit 5 Studi Kasus 2



Gambar 4. 11 Grafik Pembebanan Unit 6 Studi Kasus 2

4.3 Sistem IEEE 15 Unit Generator Dengan POZ

Pada studi kasus ini, sistem yang akan dilakukan optimasi biaya pembangkitan sistem IEEE 15 unit generator dengan memperhitungkan POZ. Simulasi DED ini dilakukan untuk mengetahui kondisi dari nilai optimasi, pengaruh parameter algoritma dan perbandingan perhitungan

algoritma. Pengujian algoritma dengan sistem IEEE 6 unit generator dengan mempertimbangkan batasan POZ. Pencarian nilai optimasi diharuskan memenuhi kendala operasi, batasan generator, batasan *ramp-rate* tiap unit serta kesetimbangan daya. Parameter algoritma IABC ditunjukkan pada tabel 4.1 dengan nilai parameter besar koloni dan siklus disamakan seperti studi kasus 1. Parameter karakteristik pembangkit dan tabel POZ dan ditampilkan pada tabel 3.4 dan tabel 4.7 dan permintaan daya tiap waktu selama 24 jam seperti pada tabel 4.2.

Hasil simulasi sistem IEEE 6 unit generator dengan batasan POZ dilakukan untuk mengetahui nilai optimasi, pengaruh parameter algoritma, perbandingan perhitungan algoritma serta pengaruh batasan POZ pada kurva karakteristik input-output generator. Pencarian nilai optimasi diharuskan memenuhi kendala operasi, batasan generator, batasan *ramp-rate* tiap unit serta kesetimbangan daya.

Tabel 4. 11 Permintaan Daya Beban 24 Jam IEEE 15 Unit Generator

Jam	Beban (MW)	Jam	Beban (MW)	Jam	Beban (MW)
1	2255.51	9	2678.78	17	2942.92
2	2234.21	10	2759.15	18	2838.31
3	2245.35	11	2816.76	19	2679.33
4	2255.51	12	2818.89	20	2610.13
5	2312.91	13	2813.57	21	2455.29
6	2336.92	14	2866.57	22	2332.85
7	2352.16	15	2997.24	23	2280.89
8	2466.50	16	2994.14	24	2273.77

Tabel 4. 12 Data POZ Sistem IEEE 15 Generator

Unit	POZ (MW)
2	[185 225] [305 335] [420 450]
5	[90 110] [140 150] [390 420]
6	[75 85] [100 105] [430 455]
12	[30 40] [55 65]

Tabel 4. 13 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam

Jam	Unit				
	1	2	3	4	5
1	387.91	353.90	130.00	130.00	150.00
2	389.07	363.17	130.00	130.00	150.00
3	392.49	348.87	130.00	130.00	150.00
4	386.12	366.06	130.00	130.00	150.00
5	422.74	388.07	130.00	130.00	150.00
6	423.07	393.17	130.00	130.00	150.00
7	448.60	396.97	130.00	130.00	150.00
8	442.87	455.00	130.00	130.00	150.00
9	454.15	455.00	130.00	130.00	217.68
10	439.68	455.00	130.00	113.60	264.56
11	448.05	455.00	129.90	130.00	305.75
12	446.72	455.00	130.00	130.00	370.01
13	446.78	455.00	130.00	130.00	425.07
14	439.06	455.00	130.00	130.00	445.36
15	453.17	455.00	130.00	130.00	463.51
16	453.02	455.00	127.85	130.00	469.96
17	450.09	455.00	130.00	130.00	462.63
18	454.70	455.00	130.00	130.00	436.65
19	447.80	455.00	130.00	130.00	316.65
20	442.56	382.93	130.00	130.00	385.08
21	430.96	393.85	130.00	130.00	265.08
22	415.45	392.23	130.00	130.00	150.00
23	402.15	367.36	130.00	130.00	156.67
24	404.42	388.74	130.00	130.00	150.00

Tabel 4. 14 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam (lanjutan)

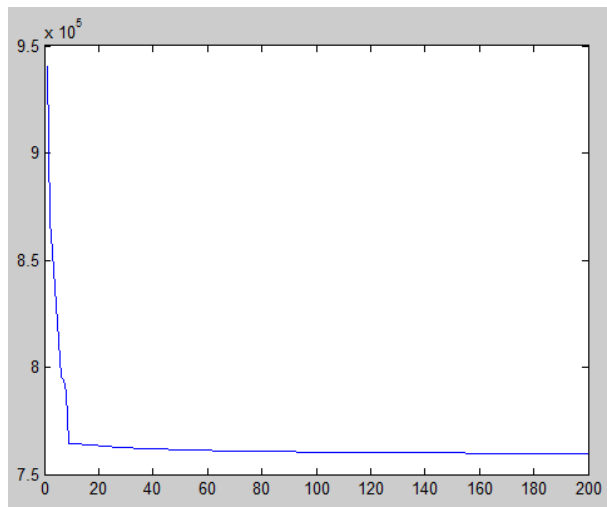
Jam	Unit				
	6	7	8	9	10
1	403.09	465.00	60.00	25.00	25.00
2	378.78	465.00	60.00	25.00	25.00
3	402.09	465.00	60.00	25.00	25.00
4	402.57	465.00	60.00	25.00	25.00
5	403.90	465.00	60.97	25.00	25.00
6	418.66	465.00	60.00	25.00	25.00
7	402.22	464.70	60.00	25.00	25.00
8	429.10	465.00	60.00	25.00	25.00
9	456.71	465.00	123.65	54.63	47.46
10	416.28	461.24	109.27	113.87	74.79
11	422.70	465.00	134.78	25.00	124.20
12	455.04	465.00	60.00	42.03	61.15
13	429.70	465.00	106.77	25.00	25.00
14	460.00	463.42	86.91	55.96	25.00
15	429.19	465.00	137.31	82.13	48.74
16	460.00	465.00	60.00	116.76	48.47
17	418.16	463.58	60.00	142.97	78.58
18	412.65	465.00	60.00	104.00	48.03
19	428.33	465.00	60.00	51.42	53.18
20	427.40	465.00	60.00	25.00	25.00
21	405.92	465.00	60.00	25.00	25.00
22	424.10	465.00	60.00	25.00	25.00
23	393.52	465.00	60.00	25.00	25.00
24	380.00	465.00	60.34	25.00	25.00

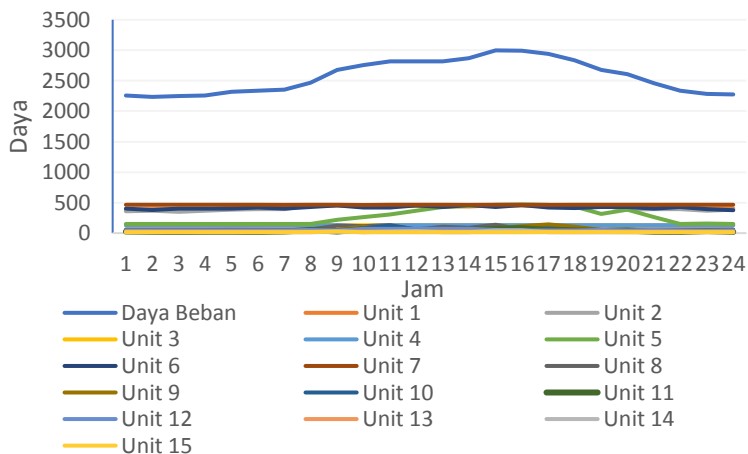
Tabel 4. 15 Hasil Pembangkitan Daya per Unit 24 Jam (lanjutan)

Jam	Unit				
	11	12	13	14	15
1	28.19	42.40	25.00	15.00	15.00
2	20.00	43.17	25.00	15.00	15.00
3	20.35	41.52	25.00	15.00	15.00
4	20.00	40.75	25.00	15.00	15.00
5	20.00	42.83	25.00	15.00	15.00
6	20.83	41.17	25.00	15.00	15.00
7	23.43	41.20	25.00	15.00	15.00
8	49.85	48.91	25.00	15.00	15.75
9	24.44	46.76	25.00	21.54	26.71
10	60.31	65.51	25.00	15.00	15.00
11	45.67	67.17	25.00	23.50	15.00
12	54.07	72.39	25.00	37.44	15.00
13	50.50	69.71	25.00	15.00	15.00
14	50.51	70.31	25.00	15.00	15.00
15	68.67	51.99	25.00	42.48	15.00
16	80.00	42.00	25.00	46.04	15.00
17	54.06	42.10	25.00	15.00	15.72
18	45.50	41.74	25.00	15.00	15.00
19	37.84	48.99	25.00	15.00	15.07
20	40.71	41.42	25.00	15.00	15.00
21	20.00	49.46	25.00	15.00	15.00
22	20.15	40.91	25.00	15.00	15.00
23	31.13	40.04	25.00	15.00	15.00
24	20.00	40.25	25.00	15.00	15.00

Tabel 4. 16 Biaya Total per Jam IEEE 15 Unit Generator

Jam	P total	Biaya	Jam	P total	Biaya
1	2255.51	28360.98	13	2813.57	34232.82
2	2234.21	28140.52	14	2866.57	34797.12
3	3245.35	28255.66	15	2997.24	36287.52
4	2255.51	28360.6	16	2994.14	36234.7
5	2312.91	29013.17	17	2942.92	35677.69
6	2336.92	29202.54	18	2838.31	34529.09
7	2352.16	29360.66	19	2679.33	32809.55
8	2466.50	30549.26	20	2610.13	32069.51
9	2678.78	32883.81	21	2455.29	30445.90
10	2759.15	33772.79	22	2332.85	29160.56
11	2816.76	34334.51	23	2280.89	28624.43
12	2818.89	34309.21	24	2273.77	28549.29
Total Biaya = 759959.8					

**Gambar 4. 12** Grafik Konvergensi IEEE 15 Unit Generator

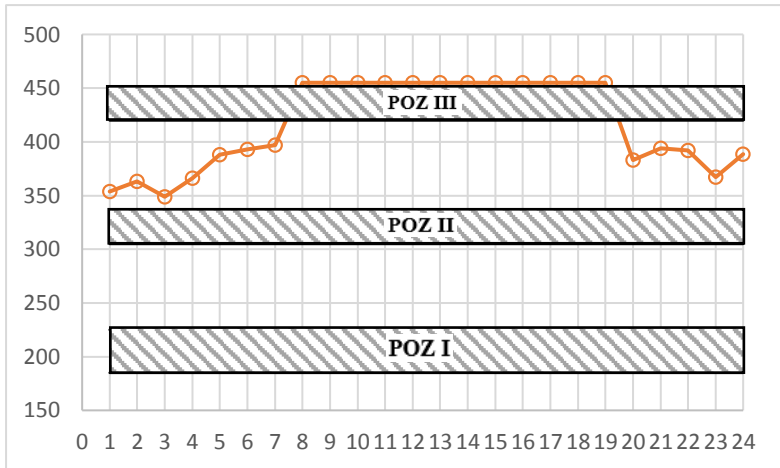


Gambar 4. 13 Grafik Pembebanan Studi Kasus 3

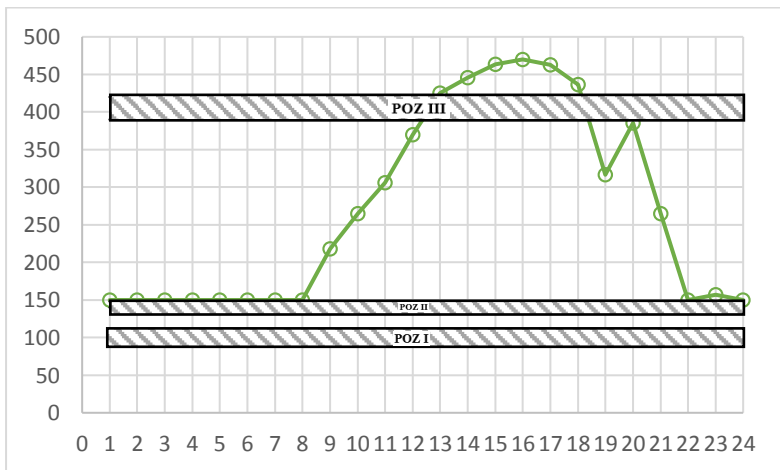
Pada tabel 4.22 didapatkan hasil pembangkitan biaya total sebesar \$ 759959.8/h. Grafik optimasi algoritma *Improved Artificial Bee Colony* pada permasalahan *dynamic economic dispatch* dengan sistem IEEE 15 unit generator ditunjukkan pada Gambar 4.4. dimana tampak biaya pembangkitan yang turun seiring dengan banyak siklus dan grafik konvergen pada iterasi ke 170.

4.3.1. Validasi 15 Unit Generator dengan POZ

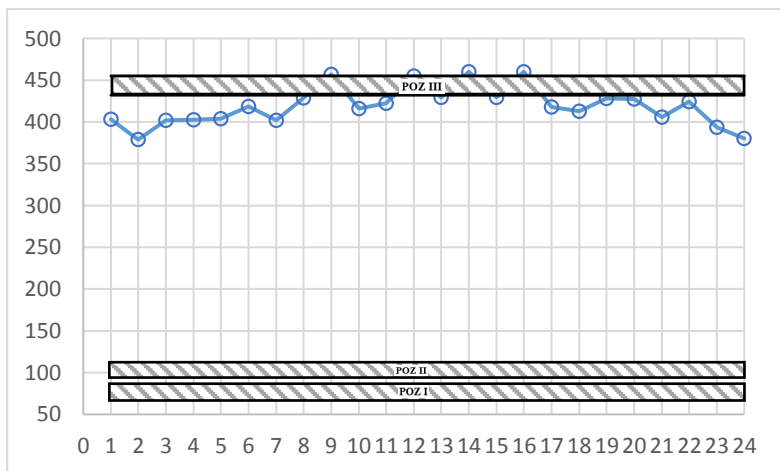
Dari hasil simulasi pada sistem IEEE 15 unit generator dengan POZ dapat dilihat bahwa pembagian pembebanan per unit sesuai dengan kebutuhan beban dan tidak melanggar batasan POZ. Unit yang terdapat batasan POZ adalah unit 2, unit 5, unit 6, dan unit 12. Grafik pembebanan per unit sistem IEEE 15 unit generator dengan POZ dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini.



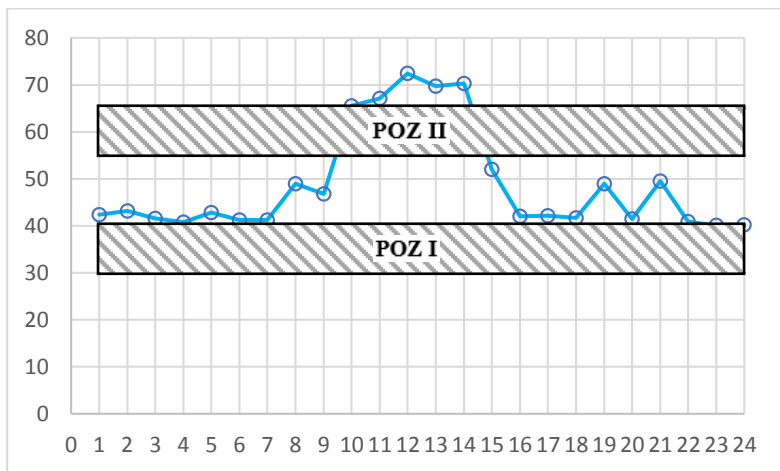
Gambar 4. 14 Grafik Pembebanan Unit 2 Studi Kasus 3



Gambar 4. 15 Grafik Pembebanan Unit 5 Studi Kasus 3



Gambar 4. 16 Grafik Pembebanan Unit 6 Studi Kasus 3



Gambar 4. 17 Grafik Pembebanan Unit 12 Studi Kasus 3

POZ III

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan analisa, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Algoritma *Improved Artificial Bee Colony* mampu melakukan optimasi permasalahan *dynamic economic dispatch* dengan baik, tanpa ditemukan pelanggaran terhadap kendala-kendala perhitungan dan mampu memenuhi kebutuhan daya untuk tiap waktu.
2. Pengujian *dynamic economic dispatch* tanpa mempertimbangkan POZ pada sistem IEEE 6 unit generator menghasilkan total biaya sebesar 313389.5 \$/h, lebih kecil dibandingkan *dynamic economic dispatch* dengan mempertimbangkan POZ pada sistem IEEE 6 unit generator 313403.8 \$/h.
3. Pengujian *dynamic economic dispatch* dengan mempertimbangkan POZ pada sistem IEEE 15 unit generator menghasilkan total biaya sebesar 760224.3 \$/h.
4. Dibandingkan dengan algoritma pembandingan lain pada sistem serupa, algoritma Artificial Bee Colony mampu memberikan waktu komputasi yang lebih cepat dan hasil yang cukup akurat.
5. Semakin banyak unit pembangkit yang dimasukkan dalam perhitungan, maka dibutuhkan besar koloni dan siklus yang lebih banyak untuk mendapatkan hasil nilai optimasi yang optimal (konvergen).
6. Efek *Prohibited Operating Zones* pada pengujian *dynamic economic dispatch* dibawah 1%, sehingga kendala ini dapat diabaikan dalam perhitungan optimasi *dynamic economic dispatch*.
7. Nilai *Modification Rate* (MR) dan *Scaling Factor* (SF) yang digunakan adalah $MR=0.4$ dan $SF=1$ untuk mendapatkan hasil yang optimal

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir kedepan adalah sebagai berikut :

1. Mengimplementasikan algoritma *Improved Artificial Bee Colony* untuk permasalahan pada sistem pembangkitan listrik, baik

dynamic economic dispatch, unit commitment, optimal power flow dan permasalahan lain. Selain itu juga dapat dikembangkan untuk permasalahan *dynamic economic dispatch* dengan memperhatikan batasan dan syarat lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gamayanti N., Alkaff A., Karim A., “Optimisasi Dynamic Economic Dispatch Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony,” *JAVA J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 13, 2015.
- [2] Sharma M. K., Phonrattanasak P., Leeprechanon N., “Improved bees algorithm for dynamic economic dispatch considering prohibited operating zones,” *IEEE*, 2016.
- [3] Wood, A. J., Wollenberg, B. F., "Power Generation Operation And Control," John Wiley & Sons Inc., 2001.
- [4] Saadat, H., "Power System Analysis," McGraw-Hill, Third Edition, 2011.
- [5] Abidin Z., Robandi I., S. W. Rony, “Dynamic Economic Dispatch Menggunakan Quadratic Programming”, *Jurnal Teknik ITS*, ITS, 2012.
- [6] Ibrahim R. S., S. W. Rony, Musthofa A., “Economic Load Dispatch Unit Pembangkit Termal Mempertimbangkan Penambahan Pembangkit Tenaga Angin dengan Menggunakan Firefly Algorithm”, *Jurnal Teknik ITS*, ITS, 2017.
- [7] Özyön S., Durmuş B., “The Application of Artificial Bee Colony Algorithm for the Economic Power Dispatch with Prohibited Operating Zone”, *IEEE*, 2012.
- [8] P. N. Nagur, Raj, S., H. T. Jadhav, “Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Non-Convex Economic Dispatch Problems”, *IEEE*, 2012.
- [9] Karaboga D., Akay B., “A modified Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems”, *Elsevier*, 2010.
- [10] A. P. Dio, P. Ontoseno, A. Ni Ketut, “Economic and Emission Dispatch Pada Sistem Transmisi Jawa Bali 500 kV Berdasarkan RUPTL 2015 – 2024 Menggunakan Modified Artificial Bee Colony Algorithm”, *ITS*, 2016.
- [11] Akay B., Karaboga D., “A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization”, *Elsevier*, 2010.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Program Simulasi MATLAB DED-POZ dengan Algoritma Improved Artificial Bee Colony

1. Program Utama

```
function[sumplout, plout, Pl, Fx,
SumGMintot]=runABC(data, NP, MaxCycle, Pd)

% sumplout = hasil daya pembangkitan perjam
% plout = hasil daya pembangkitan perjam perunit
% Pl = loss perjam
% Fx = biaya perjam

global ub lb B refPd FoodNumber Pi poz data

objfun='abcelcd';
%      a ($/MW^2)      b ($/MW)      c      Pmin
Pmaks RRUP RRDOWN Pl
data=[];
B=zeros(a);
Pd=[];
poz=[];

%| Initialization |
lbasli=data(:,4)';      % bound. bawah generator
ubasli=data(:,5)';      % bound. atas generator
ramprateUP=data(:,6)';  % batasan ramp rate naik
ramprateDN=data(:,7)';  % batasan ramp rate
turun
D=length(data(:,1));     % jumlah unit generator

NP=500;                  % jumlah koloni
FoodNumber=NP/2;         % jumlah sumber makanan
limit=200;               % limit batas eksploitasi
MaxCycle=200;            % maksimal siklus pencarian
runtime=1;               % runtime algoritma
```

```

memoryub=[];
memorylb=[];

%%| ABC Algorithm |
tic;

GlobalMins=zeros(1, runtime);
Fx=[];
Pl=[];
GMintotal=[];

clc;

%%| Modification Value |
MR=0.4; %modification rate
SF=1; %scaling factor

for r=1:runtime
    plout=[];
    Fxhelper=[];

    %%| loop Dynamic economic dispatch dengan kendala
    ramprate |

        k=length(Pd);
        for loop=1:k

            %%| Ramp Rate Limit |
            refPd=Pd(loop);

            fprintf('waktu=%d \n', loop);

            if loop==1
                ub=ubasli;
                lb=lbasli;
            else
                for checkvalue=1:6

```

```

        if (plout(loop-
1,checkvalue)+ramprateUP(checkvalue))>ubasli(che
ckvalue)

ub(checkvalue)=ubasli(checkvalue);
        else
            ub(checkvalue)=(plout(loop-
1,checkvalue)+ramprateUP(checkvalue));
        end;
        if (plout(loop-1,checkvalue)-
ramprateDN(checkvalue))<lbasli(checkvalue)

lb(checkvalue)=lbasli(checkvalue);
        else
            lb(checkvalue)=(plout(loop-
1,checkvalue)-ramprateDN(checkvalue));
        end;
    end;
    end;
    memoryub=[memoryub; ub];
    memorylb=[memorylb; lb];

% | inisialisasi sumber makanan random |

Range = repmat((ub-lb),[FoodNumber 1]);
Lower = repmat(lb, [FoodNumber 1]);
Food = rand(FoodNumber,D) .* Range +
Lower;

ObjVal=feval(objfun,Food);
Fitness=hitungFitness(ObjVal);

%| reset kounter trial |
trial=zeros(1,FoodNumber);

%| sumber makanan terbaik disimpan |
BestInd=find(ObjVal==min(ObjVal));
BestInd=BestInd(end);

```

```

GlobalMin=ObjVal(BestInd);
GlobalParams=Food(BestInd,:);
GMin=[];

iter=1;
while ((iter <= MaxCycle)),

%| Employed Bees Phase |
    for i=1:(FoodNumber)
        RR=rand;

%| parameter yang akan dirubah ditentukan secara
acak |

        Param2Change=fix(rand*D)+1;

%| solusi pilihan acak untuk mendapatkan solusi
tetangga (mutant) dari solusi i |

neighbour=fix(rand*(FoodNumber))+1;

%| solusi acak yang terpilih harus berbeda dari
solusi i |

        while(neighbour==i)

neighbour=fix(rand*(FoodNumber))+1;
            end;

            sol=Food(i,:);
            if RR<MR

%v_{ij}=x_{ij}+\phi_{ij}*(x_{kj}-x_{ij})

sol(Param2Change)=Food(i,Param2Change)+(Food(i,Param2Change)-
Food(neighbour,Param2Change))*(rand-0.5)*2*SF;
            else

sol(Param2Change)=Food(i,Param2Change);

```

```

end

%| jika dihasilkan nilai parameter yang diluar
batas, di rubah untuk tetap pada batas |
    ind=find(sol<lb);
    sol(ind)=lb(ind);
    ind=find(sol>ub);
    sol(ind)=ub(ind);

%| evaluasi solusi baru |
    ObjValSol=feval(objfun,sol);

FitnessSol=hitungFitness(ObjValSol);

%| seleksi greedy digunakan untuk membandingkan
solusi i dengan solusi tetangga (mutant) |
%| jika solusi mutan lebih baik dari solusi
i,solusi mutan akan menjadi solusi baru dan akan
meret kounter trial dari solusi i |
    if (FitnessSol>Fitness(i))
        Food(i,:)=sol;
        Fitness(i)=FitnessSol;
        ObjVal(i)=ObjValSol;
        trial(i)=0;
    else
%| jika solusi i tidak dapat ditingkatkan,
kounter trial akan bertambah |
        trial(i)=trial(i)+1;
    end;

end;

%| KalkulasiProbabilitas |
%| sumber makanan dipilih berdasarkan
probabilitas yang proporsional terhadap kualitas
|

```



```

prob=(0.9.*Fitness./max(Fitness))+0.1;

%% Onlooker Bees Phase

    i=1;
    t=0;
    while (t<FoodNumber)
        if (rand<prob(i))
            RR1=rand;
            t=t+1;
        %| parameter yang akan dirubah ditentukan secara
        acak |
            Param2Change=fix(rand*D)+1;

        %| solusi pilihan acak untuk mendapatkan solusi
        tetangga (mutant) dari solusi i |

        neighbour=fix(rand*(FoodNumber))+1;

        %| solusi acak yang terpilih harus berbeda dari
        solusi i |
            while (neighbour==i)

        neighbour=fix(rand*(FoodNumber))+1;
            end;

            sol=Food(i,:);
            if RR1<MR

        %v_{ij}=x_{ij}+\phi_{ij}*(x_{kj}-x_{ij})

        sol(Param2Change)=Food(i,Param2Change)+(Food(i,Param2Change)-
        Food(neighbour,Param2Change))*(rand-0.5)*2*SF;
            else

        sol(Param2Change)=Food(i,Param2Change);
            end

```

```

%| jika dihasilkan nilai parameter yang diluar
batas, di rubah untuk tetap pada batas |
    ind=find(sol<lb);
    sol(ind)=lb(ind);
    ind=find(sol>ub);
    sol(ind)=ub(ind);

%| evaluasi solusi baru |
    ObjValSol=feval(objfun,sol);

FitnessSol=hitungFitness(ObjValSol);

%| jika solusi mutan lebih baik dari solusi
i,solusi mutan akan menjadi solusi baru dan akan
meret kounter trial dari solusi i |
    if (FitnessSol>Fitness(i))
        Food(i,:)=sol;
        Fitness(i)=FitnessSol;
        ObjVal(i)=ObjValSol;
        trial(i)=0;
    else
%| jika solusi i tidak dapat ditingkatkan,
kounter trial akan bertambah |
        trial(i)=trial(i)+1;
    end;
end;

    i=i+1;
    if (i==(FoodNumber)+1)
        i=1;
    end;
end;

%| sumber makanan terbaik disimpan |
    ind=find(ObjVal==min(ObjVal));
    ind=ind(end);
    if (ObjVal(ind)<GlobalMin)
        GlobalMin=ObjVal(ind);

```

```

        GlobalParams=Food(ind,:);
    end;

%% Scout Bees Phase

    %| menentukan sumber makana yang kounter trial
    melebihi nilai 'limit' |
        ind=find(trial==max(trial));
        ind=ind(end);
        if (trial(ind)>limit)
            Bas(ind)=0;
            sol=(ub-lb).*rand(1,D)+lb;
            ObjValSol=feval(objfun,sol);

FitnessSol=hitungFitness(ObjValSol);
            Food(ind,:)=sol;
            Fitness(ind)=FitnessSol;
            ObjVal(ind)=ObjValSol;
        end;

    %| iterasi bertambah |

        iter=iter+1;

        GMin=[GMin GlobalMin];

    %| akhir dari ABC |
    end

    GMintotal=[GMintotal; GMin];
    SumGMintot=sum(GMintotal);

    GlobalMins(r)=GlobalMin;

    R=GlobalParams;

```

```

[F Pi Pj]=abcelld(R);

Fxhelper=[Fxhelper F];
Pl=[Pl Pj];

plout=[plout ; Pi];
end;

Fx=[Fx;Fxhelper];

end;
toc;

sumplout=sum(plout,2);

for l=1:k
    fprintf('\n \n total generator %d =%d
\n',l,sumplout(l,1));
    for sub=1:D
        fprintf('\n Daya jam-%d unit %d =%d
\n',l,sub,plout(l,sub));
    end
    fprintf('\n----- %d ----- \n',l);
end

Fx=Fx';
Pl=Pl';

sum(Fx)
totalcost=sum(Fx);
totalcost=totalcost';

for l=1:k
    fprintf('\n Cost per Unit %d =%d
\n',l,Fx(l,1));

```

```

end
fprintf('\n total cost=%d\n',totalcost);

totalloss=sum(P1);
fprintf('\n total loss=%d\n',totalloss);

% fprintf('\n waktu komputasi=%d\n',toc);

plot (SumGMintot);

save all

% sumplout = hasil daya pembangkitan perjam
% plout = hasil daya pembangkitan perjam perunit
% P1 = loss perjam
% SumGMintot = ?
% Fx = biaya perjam

```

2. Program Mencari Nilai Fitness

```

function fFitness=hitungFitness(fObjV)
fFitness=zeros(size(fObjV));
ind=find(fObjV>=0);
fFitness(ind)=1./(fObjV(ind)+1);
ind=find(fObjV<0);
fFitness(ind)=1+abs(fObjV(ind));

```

3. Program Mencari Objective Function

```

function [F Pi Pj]=abceld(x)
global ub lb B refPd data poz

n=length(data(:,1));
[m n1]=size(x);
P=x(1:m,2:n);
B11=B(1,1);
B1n=B(1,2:n);
Bnn=B(2:n,2:n);

```

```

A=B11;
BB1=2*B1n*P';
B1=(BB1-1)';
C1=(P*Bnn*P');
C1=diag(C1);
C=refPd-(sum(P'))'+C1;
A=A*ones(m,1);

for i=1:m
    y=[A(i) B1(i) C(i)];
    x1(i,:)=roots(y);
    x2(i)=(abs(min(x1(i,:))))';
    if x2(i) > data(1,5)
        x2(i) = data(1,5);
    else
    end
    if x2(i) < data(1,4)
        x2(i) = data(1,4);
    else
    end
end

G=zeros(m,1);

Pi=[x2' P];
a=data(:,1);
b=data(:,2);
c=data(:,3);
POZL1=poz(:,1)';
POZU1=poz(:,2)';
POZL2=poz(:,3)';
POZU2=poz(:,4)';

%| POZ Sistem 15 generator |
% POZL3=poz(:,5)';
% POZU3=poz(:,6)';

%% | Cost Function |
for pop=1:m

```

```

for genK=1:n

G(pop,1)=G(pop,1)+Pi(pop,genK)*Pi(pop,genK)*a(genK,1)+Pi(pop,genK)*b(genK,1)+c(genK,1);
%| POZ constraint |
    if Pi(pop,genK)>POZL1(1,genK) &&
        Pi(pop,genK)<POZU1(1,genK) ||
        Pi(pop,genK)>POZL2(1,genK) &&
        Pi(pop,genK)<POZU2(1,genK)

        G(pop,1)=G(pop,1)*10^8;
    else
    end
end
end

F=G;

Pj1=(Pi*B*Pi')';
Pj=diag(Pj1);

lam=abs(sum(Pi')'- refPd - Pj);
F=(F)+1000*lam;

```

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Giorgio Rendra Gumelar. Anak pertama dari dua bersaudara. Kelahiran Surabaya tanggal 21 Juli 1993. Mengawali pendidikan di SDK Untung Suropati II Sidoarjo pada tahun 1999-2005 kemudian melanjutkan pendidikan pada tingkat menengah pertama di SMPK Untung Suropati Sidoarjo pada tahun 2005-2008 setelah itu melanjutkan jenjang pendidikan di SMAK Untung Suropati Sidoarjo pada tahun 2008-2011 selanjutnya penulis melanjutkan ke jenjang diploma di Institut

Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan D3 Teknik Elektro Industri pada tahun 2011-2015 dan kemudian melanjutkan ke jenjang sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi elektro Departemen Teknik Elektro program studi Teknik Sistem Tenaga 2015-hingga sekarang. Selama studi jenjang sarjana di ITS, penulis aktif di berbagai kegiatan organisasi. Sebagai anggota divisi Fundraising acara Campus Starter dan koordinator divisi Fundraising and Consumption acara Campus Starter II.

Email : giorgiorendra21@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan